



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΟΝΑΔΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΚΑΥΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΡΡΙΠΤΟΜΕΝΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ



Γιαννακοπούλου Αλεξία: Α.Μ. 11004

Παπαδόπουλος Γεώργιος: Α.Μ. 11164

Επιβλέπων: Αγγελική Καυγά, Επίκουρος καθηγήτρια

Δεκέμβριος, 2013

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	<i>Σελίδα</i>
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο	3
ΒΙΟΜΑΖΑ	3
1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
1.1.1. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	3
1.1.2. Οι ΑΠΕ στην Ελλάδα.....	4
1.2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑ	6
1.3. ΕΙΔΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	6
1.3.1. Η ξυλώδης (λιγνο-κυτταρινούχος) βιομάζα.....	7
1.3.2. Η πούδης βιομάζα.....	8
1.3.3. Η βιο-αποικοδομήσιμη βιομάζα.....	9
1.4. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	9
1.4.1. Περιεχόμενη υγρασία.....	10
1.4.2. Θερμογόνος δύναμη.....	10
1.4.3. Αναλογία άνθρακα και πτητικών ουσιών.....	11
1.4.4. Η περιεκτικότητα σε τέφρα.....	13
1.4.5. Περιεχόμενα αλκαλικά μέταλλα.....	14
1.4.6. Αναλογία κυτταρίνης -λιγνίνης.....	15
1.5. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	15
1.5.1. Καύση.....	16
1.5.2. Πυρόλυση.....	18
1.5.3. Αεριοποίηση.....	20
1.5.4. Αλκοολική ζύμωση.....	22
1.5.5. Αναερόβια χώνευση.....	23

1.6. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	24
1.7. ΤΗΛΕΘΕΡΜΑΝΣΗ.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°	28
ΑΓΡΟ-ΒΙΟΜΑΖΑ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ.....	28
2.1. ΟΙ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ.....	28
2.2. ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ.....	31
2.3. ΚΟΣΤΗ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ.....	34
2.3.1 Κόστος συγκομιδής άχυρου σιτηρών.....	34
2.3.2. Κόστος συγκομιδής στελεχών βάμβακος.....	35
2.3.3. Κόστος συγκομιδής στελεχών αραβοσίτου.....	36
	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°	
ΜΟΝΑΔΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΚΑΥΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	38
3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	38
3.1.1. Η έννοια της συμπαραγωγής.....	38
3.1.2. Σύγχρονες τεχνικές συμπαραγωγής.....	38
3.1.3. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΣΗΘ.....	38
3.2. ΜΟΝΑΔΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ 4,99 MWel.....	39
3.2.1. Σύντομη περιγραφή της μονάδας.....	40
3.2.2. Γενικά χαρακτηριστικά της μονάδας.....	42
3.2.3. Βασικές υπομονάδες.....	42
3.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΥΠΟΜΟΝΑΔΩΝ.....	42
3.3.1. Υπομονάδα καύσης της βιομάζας.....	43
3.3.2. Υπομονάδα ηλεκτροπαραγωγής.....	44

	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°	44
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ.....	49
4.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ.....	
4.2. ΠΡΟΣΑΓΩΓΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ.....	51
4.3. ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ.....	
Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα	51
Βιβλιογραφία	51
	52
	56
	64
	66

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η βιομάζα αποτελεί στις μέρες μας μία από τις σημαντικότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας λόγω των πολλαπλών οφελών που παρουσιάζει τόσο στους τρόπους παραγωγής της, όσο και στο εύρος των εφαρμογών που είναι δυνατό να αξιοποιηθεί. Η μόλυνση του περιβάλλοντος και τα συνεχώς αυξανόμενα προβλήματα που δημιουργούνται από τη χρήση ορυκτών καυσίμων, έχουν οδηγήσει στην ανάγκη εύρεσης νέων εναλλακτικών καυσίμων και τρόπων παραγωγής ενέργειας. Τα νέα αυτά βιοκαύσιμα είναι ικανά να συντελέσουν στην πλήρη απεξάρτηση από τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα και τα τελευταία χρόνια υποστηρίζονται σε όλες τις επίσημες ευρωπαϊκές οδηγίες που αφορούν την ενεργειακή πολιτική.

Στην Ελλάδα και ιδιαίτερα σε αγροτικές περιοχές, όπως αυτή της περιφέρειας Θεσσαλίας, η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας από αγροτικά υπολείμματα, είναι αδιαμφισβήτητα ένα μείζον θέμα στο οποίο θα πρέπει να επικεντρωθούν όλοι οι αρμόδιοι φορείς στο άμεσο μέλλον. Με τη χρήση κατάλληλων τεχνολογιών, όπως της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, η «αγρο-βιομάζα» μπορεί να αποφέρει σημαντικά οικονομικά και περιβαλλοντολογικά οφέλη. Το κυριότερο πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι ότι εκτός από την ηλεκτρική ενέργεια, μπορούμε να εκμεταλλευτούμε και τη θερμική ενέργεια που ανακτάται, για την κάλυψη των θερμικών αναγκών σε βιομηχανίες και σε σπίτια. Στη συγκεκριμένη εργασία, η θερμική ενέργεια από τη μονάδα συμπαραγωγής που θα μελετηθεί, θα χρησιμοποιηθεί για την θέρμανση πρότυπης θερμοκηπιακής μονάδας. Πιο συγκεκριμένα:

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στις ΑΠΕ και δίνεται ο ορισμός της βιομάζας. Καταγράφονται όλα τα είδη βιομάζας με τις αντίστοιχες ιδιότητές τους, οι οποίες αποτελούν το βασικό κριτήριο για την επιλογή της μεθόδου ενεργειακής αξιοποίησης όπως η καύση, η αεριοποίηση και η πυρόλυση που αναλύονται στη συνέχεια. Αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της επένδυσης στη βιομάζα μαζί με τις κυριότερες εφαρμογές της όπως αυτή του συστήματος τηλεθέρμανσης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο οριοθετείται η περιοχή ενδιαφέροντος για συλλογή και εκμετάλλευση της βιομάζας από αγροτικά υπολείμματα με βάση την τοποθεσία εγκατάστασης της μονάδας συμπαραγωγής. Υπολογίζεται το δυναμικό αλλά και το κόστος συλλογής και μεταφοράς, για τα τρία προς εκμετάλλευση είδη αγροτικής βιομάζας που είναι το άχυρο σιτηρών, το βαμβάκι και ο αραβόσιτος.

Στο τρίτο κεφάλαιο, αρχικά περιγράφεται η έννοια της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) καθώς επίσης και τα πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα των συστημάτων αυτών. Στη συνέχεια, δίνονται τα ονομαστικά μεγέθη της μονάδας συμπαραγωγής και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση, τροφοδοσία, καύση και παραγωγή ηλεκτρισμού-θερμότητας με καύσιμη ύλη την βιομάζα από αγροτικά υπολείμματα.

Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο υπολογίζονται οι θερμικές ανάγκες του θερμοκηπίου, για την θέρμανση του οποίου θα εκμεταλλευτούμε το θερμό νερό που χρησιμοποιείται στον συμπυκνωτή της υπομονάδας ηλεκτροπαραγωγής. Οι υπολογισμοί έγιναν σε μηνιαία βάση, για την περίοδο από Οκτώβριο μέχρι Απρίλιο, όπου η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι χαμηλή και η ηλιακή ακτινοβολία δεν είναι αρκετή για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της θερμοκηπιακής μονάδας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΒΙΟΜΑΖΑ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1.1. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Σε ολόκληρο τον κόσμο, μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που έχει εμφανιστεί σήμερα είναι η ανάγκη για λύση του ενεργειακού προβλήματος. Για την κάλυψη των ολοένα αυξανόμενων ενεργειακών αναγκών, η στροφή προς τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), αναμφίβολα δεν αποτελεί επιλογή, αλλά μια επιβεβλημένη ανάγκη. Τα τελευταία χρόνια τόσο οι ΑΠΕ όσο και η εξοικονόμηση ενέργειας έχουν αποτελέσει ένα από τα πιο καίρια ζητήματα για την οικονομική και περιβαλλοντική πολιτική των περισσότερων χωρών. Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας έχουν πλέον εξελιχθεί παγκοσμίως ως ένα ιδιαίτερα δυναμικό επενδυτικό μέσο για την τόνωση της ανάπτυξης (κυρίως της απασχόλησης) και για την αντιμετώπιση της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης.

Η παγκόσμια επιτροπή για το περιβάλλον και την ανάπτυξη διατύπωσαν την εξής έννοια της βιώσιμης ή αειφόρου ανάπτυξης: «βιώσιμη είναι η ανάπτυξη η οποία ικανοποιεί την ανάπτυξη της σημερινής γενιάς χωρίς να χειροτερεύει την ικανότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες». Η δυνατότητα της βιώσιμης ανάπτυξης είναι υπαρκτή όσο υπάρχουν ανανεώσιμοι πόροι, συμπεριλαμβανομένων και των ανανεώσιμων ενεργειακών πηγών και αξιοποιούνται στο μέγιστο δυνατό βαθμό.

Η ευρύτερη έννοια των ανανεώσιμων πηγών περιλαμβάνει κάθε πηγή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ανανεώνεται μέσω φυσικών φαινομένων μόνιμου κύκλου. Πρόκειται δηλαδή, για νέες, «καθαρές» μορφές ενέργειας, οι οποίες είναι αποτέλεσμα φυσικών φαινομένων και είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, καθώς δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα όπως οι υπόλοιπες συμβατικές μορφές ενέργειας που χρησιμοποιούνται ευρύτατα εδώ και πολλές δεκαετίες. Οι ΑΠΕ για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτούν κάποια ενεργητική τεχνητή παρέμβαση όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση, αλλά γίνεται η εκμετάλλευσή της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας που υπάρχει στη φύση. Συνεπώς, πρόκειται για ανεξάντλητες πηγές ενέργειας που βασίζονται σε διάφορες φυσικές διαδικασίες όπως είναι ο ήλιος, ο άνεμος, η βιομάζα, η θερμότητα της γης, οι υδατοπτώσεις και η ενέργεια των κυμάτων, των ρευμάτων και των ωκεανών.

Οι ΑΠΕ μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε άμεσα (κυρίως για θέρμανση), είτε αφού μετατραπούν σε άλλες μορφές ενέργειας, όπως ηλεκτρική ή μηχανική ενέργεια. Το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό από τις πηγές των ΑΠΕ έχει εκτιμηθεί ως πολλαπλάσιο της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας. Υπάρχουν όμως πολλοί παράγοντες, όπως υψηλή μέχρι πρόσφατα τιμή των ενεργειακών εφαρμογών, τα διάφορα τεχνικά προβλήματα

εφαρμογής, καθώς και ορισμένες πολιτικές και οικονομικές σκοπιμότητες που έχουν εμποδίσει την ακόμα μεγαλύτερη εκμετάλλευση αυτών των πηγών ενέργειας.

1.1.2. Οι ΑΠΕ στην Ελλάδα

Η πρώτη προσπάθεια ανάπτυξης των ΑΠΕ έγινε με τον Ν. 1559/85, με τον οποίο δόθηκε η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε ιδιώτες και τους οργανισμούς της τοπικής αυτοδιοίκησης, μέχρι το τριπλάσιο της ισχύος των εγκαταστάσεών τους και την πώληση της περίσσειας στη ΔΕΗ.

Ουσιαστικά όμως, η έναρξη της ανάπτυξης των ΑΠΕ έγινε με τον Ν.2244/94, ο οποίος έδωσε τη δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και σε ιδιώτες με μοναδικό σκοπό την πώληση της παραγόμενης ενέργειας στη ΔΕΗ, ενώ ταυτόχρονα αύξησε και τις δυνατότητες αυτοπαραγωγής. Όρισε επίσης σχετικά επαρκείς τιμές αγοράς της πωλούμενης στη ΔΕΗ ενέργειας και δεκαετή διάρκεια συμβάσεων. Παράλληλα θεσπίστηκαν αναπτυξιακά κίνητρα (Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ενέργειας, Αναπτυξιακός Νόμος κ.ά.), τα οποία περιελάμβαναν επιδοτήσεις των δαπανών εγκαταστάσεως ΑΠΕ και Συμπααραγωγής, ώστε παρά τα εμπόδια λόγω των πολύπλοκων διαδικασιών αδειοδότησης, που δεν κατέστη δυνατόν να ξεπεραστούν, να σημειωθεί σημαντική πρόοδος κατά τα τελευταία ιδίως έτη (Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας).

Η Οδηγία 2001/77/ΕΚ «για την προαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας» έθεσε στην Ελλάδα ορισμένες υποχρεωτικές δεσμεύσεις που αφορούσαν τον στόχο κάλυψης της παραγόμενης από ΑΠΕ, περιλαμβανομένων και των μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων, σε ποσοστό της ακαθάριστης κατανάλωσης ενέργειας κατά το έτος 2010 ίσο με 20,1%. Ο στόχος αυτός είναι συμβατός και με τις διεθνείς δεσμεύσεις της χώρας που απορρέουν από το πρωτόκολλο του Κιότο που υπογράφηκε το Δεκέμβριο του 1997 στη σύμβαση-πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος. Το πρωτόκολλο του Κιότο προέβλεπε για την Ελλάδα συγκράτηση του ποσοστού αύξησης κατά το έτος 2010 του CO₂ και άλλων αερίων που επιτείνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου κατά 25% σε σχέση με το έτος βάση 1990.

Σύμφωνα με τη νέα κοινοτική οδηγία 2009/28/ΕΚ, ο στόχος για τον οποίο έχει δεσμευτεί η Ελλάδα έχει καθοριστεί ως εξής: 18% συμμετοχή των ΑΠΕ στην κάλυψη της εθνικής κατανάλωσης ενέργειας το 2020, με έτος βάσης το 2005, στο οποίο η αντίστοιχη καταγεγραμμένη συμμετοχή των ΑΠΕ ανέρχεται σε 6,9% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στη χώρα. Σε κάθε περίπτωση ο δεσμευτικός εθνικός στόχος του 18% για τις ΑΠΕ (2020) συνδυάζεται και λειτουργεί σε πλήρη συνέργεια με τρεις άλλους, επίσης δεσμευτικούς, στόχους που έχουν τεθεί στον ίδιο χρονικό ορίζοντα του 2020, σε Κοινοτικό-καταρχήν-επίπεδο:

- Την κατά 20% μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 (30% μείωση, υπό προϋποθέσεις αντίστοιχης στόχευσης από άλλες, οικονομικά ανεπτυγμένες χώρες, διεθνώς).

- Την κατά 20% πρόσθετη εξοικονόμηση ενέργειας, σε σχέση (over and above) με το σενάριο πλήρους εφαρμογής των ήδη θεσμοθετημένων Κοινοτικών και εθνικών πολιτικών, δράσεων και μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας.
- Την κατά 10% συμμετοχή των βιοκαυσίμων, σε ενεργειακή βάση, στη συνολική κατανάλωση καυσίμων μεταφορών (ο στόχος αυτός εφαρμόζεται τόσο σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης, όσο και για κάθε Κράτος-Μέλος χωριστά)

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθεται, η ήδη υπάρχουσα εγκατεστημένη ισχύς (έτος 2012) αλλά και η επιδιωκόμενη αναλογία εγκατεστημένης ισχύος ανά τεχνολογία Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην Ελλάδα, με χρονικό ορίζοντα τα έτη 2014 και 2020. Παρατηρούμε ότι, όπως σε όλες τις τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, έτσι και στη τεχνολογία της βιομάζας που θα ασχοληθούμε στη συνέχεια, η ανάγκη και η υποχρέωση για αύξηση της ήδη υπάρχουσας εγκατεστημένης ισχύος είναι μεγάλη.

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ		ΙΣΧΥΣ (MW)		
		Εγκατεστημένη	Επιδιωκόμενη	
		2012	2014	2020
Υδροηλεκτρικά	Μικρά (0-15MW)	212,9	300	350
	Μεγάλα (>15MW)	3018	3400	4300
Φωτοβολταϊκά		1536	1500	2200
Ηλιοθερμικά		0	120	250
Αιολικά		116,6	4000	7500
Βιομάζα		44,8	200	350
Σύνολο		4928,3	9520	14950

Πίνακας 1.1: Εγκατεστημένη και επιδιωκόμενη ισχύς από ΑΠΕ στην Ελλάδα

1.2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Ως βιομάζα ορίζεται το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα προϊόντων, αποβλήτων και καταλοίπων που προέρχονται από τις γεωργικές (συμπεριλαμβανομένων φυτικών και ζωικών ουσιών), τις

δασοκομικές και τις συναφείς βιομηχανικές δραστηριότητες, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα βιομηχανικών αποβλήτων και αστικών λυμάτων και απορριμμάτων. Γενικά με τον όρο βιομάζα θεωρείται οποιοδήποτε υλικό παράγεται από φυτικούς - ζωικούς οργανισμούς ή απόβλητα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας.

Η ενέργεια που είναι δεσμευμένη στις φυτικές ουσίες προέρχεται από τον ήλιο. Μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης οι φυτικοί οργανισμοί απορροφούν το διοξείδιο του άνθρακα που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα, το οποίο μαζί με το νερό και την ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε πλούσια ενεργειακά ζάχαρα που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξή τους. Μετέπειτα τα ζάχαρα αυτά, μετατρέπονται σε άλλες ουσίες όπως η κυτταρίνη που χρησιμοποιούμε για ρουχισμό και η λιγνίνη, ενώ παραπροϊόν της όλης διαδικασίας είναι το οξυγόνο που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Οι ζωικοί οργανισμοί αυτή την ενέργεια την προσλαμβάνουν με την τροφή τους και αποθηκεύουν ένα μέρος της. Αυτή την ενέργεια αποδίδει τελικά η βιομάζα, μετά την επεξεργασία και τη χρήση της. Είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας δεδομένου ότι είναι αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια που δεσμεύτηκε από τα φυτά κατά τη φωτοσύνθεση και δεν επηρεάζει την ισορροπία της φύσης.

Η χρήση της βιομάζας είναι η παλαιότερη και πιο διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας, καθ' ότι πολλές χιλιετίες πριν, ο άνθρωπος για τη θέρμανση του και τη μαγειρική χρησιμοποίησε την ενέργεια που προερχόταν από την καύση των ξύλων, που αποτελεί το πιο γνώριμο είδος βιομάζας. Είναι ένα είδος ανανεώσιμης μορφής ενέργειας που υιοθετείται σε μεγάλο βαθμό ακόμα, κυρίως σε αγροτικές περιοχές αλλά και στις περισσότερες αναπτυσσόμενες χώρες.

1.3.ΕΙΔΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Για την καλύτερη ανάλυση και κατανόηση των ιδιοτήτων και της επιθυμητής ενεργειακής αξιοποίησης του κάθε είδους βιομάζας, θα την χωρίσουμε σε τρεις βασικές κατηγορίες. Τη λιγνοκυτταρινούχο ή ξυλώδη βιομάζα, τη ποώδη βιομάζα και τη βιοαποικοδομήσιμη βιομάζα.

Εικόνα 1.1: Διάφορα είδη και πηγές βιομάζας

1.3.1. Η ξυλώδης (λιγνο-κυτταρινούχος) βιομάζα

Περιλαμβάνει όλα τα μέρη (φλοιός, κορμός, κλαδιά, φύλλα, ρίζες) κάθε δέντρου που υπάρχει στη φύση σε ποικίλες μορφές (κούτσουρα, τεμαχισμένο ξύλο, πελλέτες ή μπριγκέτες ξύλου, πριονίδι). Οι κύριες πηγές ξυλώδους βιομάζας είναι:

- Δασοπονικές καλλιέργειες μικρού περιόδου χρόνου / βραχυχρόνια αμειψισπορά (πρεμνοφυή δάση): Φυτεύονται συνήθως ως ταχέως αναπτυσσόμενα είδη (λεύκα, ιτιά κ.τ.λ.) σε πεδινές εκτάσεις. Μια τέτοια γεωργική προσέγγιση στην αναπαραγωγή των δέντρων επιτρέπει την μηχανοποίηση της παραγωγής και ειδικά της συγκομιδής. Ολόκληρο το υπέργειο τμήμα του δέντρου συλλέγεται μηχανικά και χρησιμοποιείται ως καύσιμο.
- Δασοκομία σύντομης αμειψισποράς: είναι παρόμοια με τη προηγούμενη περίπτωση, αλλά η διαφορά έγκειται στη διαχείριση των δασών. Ο χρονικός κύκλος είναι συνήθως μεταξύ 8 και 20 έτη, το παραγόμενο ξύλο (πέυκο, λεύκη, ευκάλυπτος, νότια οξιά κ.τ.λ.) συνήθως χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία (βιομηχανία ξύλου, κατασκευή παλετών, παραγωγή χαρτιού, βιοενέργεια, κτλ). Το κύριο προϊόν της δασοκομίας σύντομης αμειψισποράς είναι κορμός μικρής/μεσαίας διαμέτρου (έως 40cm) και τα παραπροϊόντα είναι όμοια με τα συνήθη των δασικών υπολειμμάτων.
- Δάση πλατύφυλλων φυλλοβόλων: είναι ιδιαίτερα διαδεδομένα στη Νότια Ευρώπη. Η διαχείριση των πρεμνοφυών πλατύφυλλων δασών (δρυς, οξιά, χαρουπιά, κ.τ.λ.) αποτελεί μια τοπική παράδοση και συνδέεται με την παραγωγή καυσόξυλων. Τα δέντρα έχουν συγκομιστεί σε κύκλους ζωής περίπου 20 ετών. Σε αυτή την περίπτωση όλα τα κλαδιά συνήθως εγκαταλείπονται στο έδαφος.
- Δέντρα αυτοκινητόδρομων (ανεμοφράκτες) και αστικών πάρκων: πρόκειται για δέντρα από διάφορα είδη ξύλου (όπως ευκάλυπτος, πλάτανος, κυπαρίσσι, κ.α.) και τα οποία συντηρούνται εντατικά (κλαδέματα) κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους και τελικά αντικαθίστανται. Τα υπολείμματα από τα κλαδέματα όπως και ολόκληρα κομμένα δέντρα αποτελούν εξαιρετική πηγή βιοκαυσίμων.
- Υπολείμματα που προέρχονται από γεωργικές δραστηριότητες παρεμφερείς με ξυλώδεις καλλιέργειες (όπως μηλιές, ελιές, σταφυλιές) ακόμα κι αν η λιγνοκυτταρινούχος βιομάζα είναι μόνο παραπροϊόν της παραγωγής φρούτων, μπορεί να ληφθεί υπόψη ως ένα διαθέσιμο και ελκυστικό καύσιμο το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή βιοενέργειας.
- Λιγνοκυτταρινούχα υπολείμματα από άλλες παραγωγικές δραστηριότητες, όπως η βιομηχανία ξύλου. Τα πριονιστήρια, για παράδειγμα, χρησιμοποιούν ένα βιομηχανικό σύστημα, το οποίο χρησιμοποιεί κορμούς ως πρώτη ύλη για την παραγωγή πριστής ξυλείας (ως κύριο προϊόν) και υπολείμματα σε σταθερό ρυθμό. Μόνο το 28 % του συνολικού βάρους του δέντρου αποτελεί το τελικό προϊόν και το υπόλοιπο (72 %) μπορεί να θεωρηθεί ως πιθανή πρώτη ύλη για βιοκαύσιμο.

1.3.2. Η ποώδης βιομάζα

Περιλαμβάνει όλα τα φυτά που έχουν ένα μη-ξυλώδες στέλεχος και τα οποία πεθαίνουν στο τέλος της εποχής ανάπτυξης. Βασικές πηγές ποώδους βιομάζας είναι:

- Ενεργειακές καλλιέργειες. Είναι φυτά και χόρτα που καλλιεργούνται από αγρότες αποκλειστικά για χρήση στον τομέα βιοενέργειας. Σήμερα, η πιο συχνή χρήση τους αφορά στην παραγωγή ελαιούχων ή/και αμυλούχων καλλιεργειών, οι καρποί των οποίων χρησιμοποιούνται στην παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων όπως βιοντήζελ και βιοαιθανόλη. Η παραγωγή αιθανόλης από σιτηρά και καλαμπόκι, καθώς και το βιοντήζελ από ελαιοκράμβη και ηλίανθο αποτελούν τα πιο γνωστά παραδείγματα ενεργειακών φορέων που παράγονται από ποώδη βιομάζα. Η πρακτική αυτή είναι γνωστή ως παραγωγής 1^{ης} γενιάς βιοκαυσίμων. Το σκεπτικό της καλλιέργειας αυτών των φυτών είναι η σχετική ευκολία της παραγωγής υγρών βιοκαυσίμων από σπόρους πλούσιους σε έλαιο ή/και άμυλο. Από την άλλη όμως, τέτοιες πρώτες ύλες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την παραγωγή τροφής και επομένως η πρακτική αντιμετωπίζεται πολύ αρνητικά ως προς το θέμα της βιωσιμότητας. Άλλοι τύποι ποώδων ενεργειακών καλλιεργειών χαρακτηρίζονται ως «λιγνοκυτταρινούχοι». Το περιεχόμενο τους σε έλαια/άμυλο είναι ελάχιστο, αλλά είναι πλούσιες σε κυτταρίνη, ημικυτταρίνη και λιγνίνη και μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού ή για την παραγωγή 2^{ης} γενιάς βιοκαυσίμων. Μια διεργασία πιο δύσκολη σε σχέση με την παραγωγή βιοκαυσίμων 1^{ης} γενιάς αλλά που εγείρει λιγότερες αντιρρήσεις όσον αφορά θέματα αειφορίας.
- Αγροτικά υπολείμματα. Αυτά είναι τα παραπροϊόντα που μένουν στο χωράφι από την παραγωγή καλλιεργειών που προορίζονται για τροφές, ίνες ή ζωοτροφές. Το άχυρο σιτηρών και ρυζιού, τα υπολείμματα αραβοσίτου, τα στελέχη και φύλλα από καλλιέργειες ελαιωδών καρπών περιλαμβάνονται σε αυτή την κατηγορία. Τα αγροτικά υπολείμματα χρησιμοποιούνται συνήθως ως στερεά βιοκαύσιμα για την παραγωγή θερμότητας ή/και ηλεκτρισμού. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη για την παραγωγή 2^{ης} γενιάς βιοκαυσίμων
- Αγρο-βιομηχανικά υπολείμματα. Είναι παραπροϊόντα ή υπολείμματα από βιομηχανίες επεξεργασίας, κυρίως από τον κλάδο τροφίμων ή ινών. Γενικά, τα αγρο-βιομηχανικά υπολείμματα έχουν καλές ιδιότητες καύσης και χρησιμοποιούνται ευρέως ως καύσιμα θέρμανσης για τις ανάγκες των βιομηχανιών που τα παράγουν ή σε νοικοκυριά. Άλλες χρήσεις μπορούν επίσης να εξεταστούν. Τα υπολείμματα αυτά διαφέρουν από τις άλλες δυο κατηγορίες όχι μόνο ως προς τις ιδιότητες αλλά και γιατί συλλέγονται από ένα συγκεκριμένο σημείο αντί ενός μεγάλου χωραφιού.

1.3.3. Η βιο-αποικοδομήσιμη βιομάζα

Περιλαμβάνει τα βιομηχανικά βιολογικά απόβλητα, την ιλύ βιολογικών καθαρισμών, την κοπριά και τα βιολογικά απόβλητα χωματερών. Η βιο-αποικοδομήσιμη βιομάζα, κυρίως από υπολείμματα κτηνοτροφικών μονάδων και βιομηχανιών επεξεργασίας τροφίμων, χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιοαερίου πλούσιου σε μεθάνιο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμότητας ή/και ηλεκτρισμού, ινών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ένα πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά εδαφοβελτιωτικό και υγρών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υγρά λιπάσματα.

1.4. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Από τις ιδιότητες της πηγής προέλευσης της βιομάζας εξαρτάται τόσο η επιλογή της μεθόδου μετατροπής της βιομάζας, όσο και το παραγόμενο καύσιμο από αυτή. Οι δυσκολίες και τα προβλήματα τα οποία προκύπτουν κατά την διαδικασία μετατροπής οφείλονται κυρίως στις ιδιότητες αυτές. Οι κύριες ιδιότητες της πρώτης ύλης, οι οποίες παρουσιάζουν ενδιαφέρον κατά την αξιοποίηση της βιομάζας είναι οι εξής:

- Η περιεχόμενη υγρασία (φυσική και εξωγενής)
- Η θερμογόνος δύναμη
- Η αναλογία άνθρακα και πτητικών ουσιών
- Η περιεκτικότητα σε τέφρα
- Τα περιεχόμενα αλκαλικά μέταλλα
- Ο λόγος κυτταρίνης / λιγνίνης

Για την ανάκτηση ενέργειας της βιομάζας σημαντικό ρόλο έχουν τα πέντε πρώτα χαρακτηριστικά, το πρώτο και το τελευταίο χαρακτηριστικό επιδρούν κυρίως στη διαδικασία αξιοποίησης.

1.4.1. Περιεχόμενη υγρασία

Η περιεχόμενη υγρασία στη βιομάζα συνίσταται από τη:

- Φυσική υγρασία: Είναι η υγρασία που περιέχεται στη πρώτη ύλη και είναι ανεξάρτητη από τις καιρικές συνθήκες.

- **Εξωγενή υγρασία:** Είναι το ποσό της υγρασίας που προστίθεται στη φυσική κατά τη διάρκεια της συλλογής της βιομάζας και εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν την περίοδο εκείνη.

Ορίζεται ως η ποσότητα νερού που βρίσκεται στη βιομάζα και μετράται ως ποσοστό επί του βάρους του υλικού:

όπου, : η επί τις εκατό περιεχόμενη υγρασία του καυσίμου

: η μάζα του νερού που βρίσκεται στο καύσιμο

: η συνολική μάζα του καυσίμου

Η περιεχόμενη υγρασία καθορίζει κατά πολύ τη μέθοδο μετατροπής και ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας. Σε ποσοστό υγρασίας χαμηλότερο του 50% χρησιμοποιούνται θερμοχημικές διεργασίες για την ανάκτηση ενέργειας, ενώ σε ποσοστό μεγαλύτερο χρησιμοποιούνται οι βιοχημικές διεργασίες.

1.4.2. Θερμογόνος δύναμη

Η θερμογόνος δύναμη της βιομάζας είναι όρος βάση του οποίου επιχειρείται να αποτιμηθεί η περιεχόμενη ενέργεια της βιομάζας. Η θερμογόνος δύναμη συνήθως εκφράζεται σε μονάδες ενέργειας ανά μονάδα μάζας ή όγκου: MJ/Kg για στερεά υλικά, MJ/m³ για υγρά και για αέρια σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Για πρακτικούς λόγους, η θερμογόνος δύναμη απαντάται με δύο μορφές: την ανώτερη θερμογόνο δύναμη HHV (Higher Heating Value) και την κατώτερη θερμογόνο δύναμη LHV (Lower Heating Value).

Η ανώτερη θερμογόνος δύναμη περιλαμβάνει όχι μόνο τη χημική ενέργεια που απελευθερώνεται από τα καιόμενα υλικά, αλλά και τη θερμότητα που εκλύεται κατά τη διάρκεια της συμπύκνωσης υδρατμών μετά την καύση, δηλαδή 44,01 KJ/mol για την αντίδραση $H_2O(g) \rightarrow H_2O(l)$. Η κατώτερη θερμογόνος δύναμη υπό σταθερή πίεση αποτελεί το μέγεθος του οποίου η μέτρηση θα χρησιμοποιηθεί περισσότερο για πρακτικούς λόγους. Αντιπροσωπεύει τη συνολική ενέργεια που μπορεί να απελευθερωθεί από τα καύσιμα, όταν καούν πλήρως και όταν τα προϊόντα της καύσης, τα καυσαέρια, συμπεριλαμβανομένων και των υδρατμών, εγκαταλείπουν το θάλαμο καύσης σε αέρια μορφή. Δεδομένου ότι, η LHV δεν περιλαμβάνει τη θερμότητα που λαμβάνεται από τη συμπύκνωση των υδρατμών έχει χαμηλότερη τιμή από την HHV.

Η συνολική ποσότητα του νερού στα αέρια καύσης καθορίζεται από την περιεκτικότητα σε υγρασία του δείγματος και από την ποσότητα του νερού που σχηματίζεται κατά την καύση του υδρογόνου που περιέχεται στο καύσιμο. Το αποτέλεσμα επηρεάζεται επίσης από το περιεχόμενο των καυσίμων σε θείο και σε κάποια άλλα στοιχεία. Ως εκ τούτου, για να μπορέσει

να γίνει ο υπολογισμός της κατώτερης θερμογόνου δύναμης, πρέπει να είναι γνωστή η στοιχειακή ανάλυση της καύσιμης ουσίας.

1.4.3. Αναλογία άνθρακα και πτητικών ουσιών

Η περιεχόμενη χημική ενέργεια των καυσίμων είναι αποθηκευμένη σε δύο μορφές. Με αυτή του άνθρακα και με αυτή των πτητικών ουσιών των καυσίμων που αντιπροσωπεύουν την καύσιμη ύλη και την οργανική ύλη. Η βασική ανάλυση των καυσίμων της βιομάζας στηρίζεται στη μέτρηση της περιεχόμενης υγρασίας, της περιεκτικότητας του άνθρακα, της περιεκτικότητας των πτητικών ουσιών, της στάχτης και της κατώτερης θερμογόνου δύναμης. Η στοιχειακή ανάλυση όμως των καυσίμων αποτελεί και την ολοκληρωμένη ανάλυση αυτών. Κατά την στοιχειακή ανάλυση μετράται η περιεκτικότητα των καυσίμων σε C, H, N, S και O. Για την ποώδη βιομάζα, καθώς και για τα κλάσματα αποβλήτων, και το χλώριο είναι μεγάλης σημασίας. Οι ακόλουθες βασικές επισημάνσεις μπορούν να γίνουν για κάθε στοιχείο:

Άνθρακας (C)

Είναι προφανώς, το πιο σημαντικό συστατικό των καυσίμων βιομάζας. Προέρχεται κυρίως από το ατμοσφαιρικό CO₂ που έγινε μέρος της φυτικής ύλης μέσω της φωτοσύνθεσης. Ο άνθρακας συνεισφέρει το μεγαλύτερο μέρος στη συνολική θερμογόνο δύναμη του καυσίμου. Κατά την καύση μετατρέπεται πάλι σε CO₂, το οποίο ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα.

Σε κάθε εφαρμογή καύσης, ένα μέρος του άνθρακα δεν καίγεται πλήρως και οδηγεί σε εκπομπές άκαυστων αερίων, κυρίως μονοξειδίου του άνθρακα ή πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (PAHs). Ωστόσο, αυτό δε σχετίζεται με τη συνολική περιεκτικότητα σε άνθρακα αλλά με τις συνθήκες και τον εξοπλισμό καύσης. Η περιεκτικότητα του καυσίμου σε άνθρακα εξαρτάται άμεσα από την περιεκτικότητα σε λιγνίνη, ημικυτταρίνη και κυτταρίνη. Μια χαμηλή περιεκτικότητα σε λιγνίνη, όπως συμβαίνει στην ποώδη βιομάζα, οδηγεί σε μικρότερη περιεκτικότητα σε άνθρακα. Οι τυπικές τιμές είναι μεταξύ 44 – 50% κ.β. επί ξηρού. Καύσιμα πλούσια σε λιγνίνη, όπως το ελαιοπυρηνόξυλο, έχουν περιεκτικότητα σε άνθρακα μεγαλύτερη του 50% κ.β. επί ξηρού.

Υδρογόνο (H)

Είναι άλλο ένα κύριο συστατικό της βιομάζας, όπως αναμένει κανείς από τη χημική σύσταση των υδατανθρακικών και φαινολικών πολυμερών. Κατά την καύση, το υδρογόνο μετατρέπεται σε H₂O και έχει σημαντική συνεισφορά στην όλη θερμογόνο ικανότητα. Η περιεκτικότητα σε υδρογόνο επηρεάζει τον υπολογισμό της κατώτερης θερμογόνου δύναμης από την πειραματικά μετρούμενη ανώτερη θερμογόνο δύναμη. Στην ποώδη βιομάζα, το υδρογόνο βρίσκεται σε ποσοστά 5,5 – 6,0 % κ.β. επί ξηρού, συνήθως λίγο χαμηλότερο από το 6 – 8 % της ξυλώδους βιομάζας.

Άζωτο (N)

Είναι το πιο σημαντικό θρεπτικό συστατικό για τα φυτά. Απορροφάται από το έδαφος ή από τα αζωτούχα λιπάσματα κατά την ανάπτυξη του φυτού. Εξαιτίας του γρήγορου ρυθμού ανάπτυξης και της χρήσης λιπασμάτων, τα είδη ποώδους βιομάζας τείνουν να έχουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα αζώτου (0,4 – 1,0 % κ.β. επί ξηρού) εν συγκρίσει με την ξυλώδη βιομάζα. Ακόμα μεγαλύτερες τιμές έχουν αναφερθεί για ορισμένα σιτηρά. Σε ορισμένα κλάσματα αποβλήτων, το περιεχόμενο του αζώτου μπορεί να είναι αρκετές ποσοστιαίες μονάδες, γεγονός που συνεισφέρει σημαντικά στην ευκολία βιοαποικοδόμησης σε βιοχημικές διεργασίες, όπως η χώνευση ή η ζύμωση.

Κατά την καύση το άζωτο δεν οξειδώνεται σε σημαντικές ποσότητες και ελευθερώνεται στην αέρια φάση ως N_2 . Επομένως, η συνεισφορά του στην όλη θερμογόνο ικανότητα είναι μηδενική. Ωστόσο, οι μικρές ποσότητες αζώτου που οξειδώνονται μετατρέπονται σε οξείδια του αζώτου, ένας από τους κύριους αέριους ρυπαντές από συστήματα βιομάζας. Έτσι, μια υψηλή περιεκτικότητα της βιομάζας σε άζωτο μπορεί να οδηγήσει, αν και αυτό εξαρτάται επίσης ισχυρά και από τις συνθήκες καύσης, τον έλεγχο και τον εξοπλισμό, σε υψηλές εκπομπές οξειδίων του αζώτου.

Θείο (S)

Περιλαμβάνεται σε πολλές οργανικές δομές, όπως αμινοξέα, πρωτεΐνες και ένζυμα. Σε κλάσματα αποβλήτων, όπως ένα μείγμα οργανικών ενώσεων, αποτελούν το κύριο μέρος του καυσίμου και η περιεκτικότητα σε θείο μπορεί να είναι αρκετά μεγάλη σε ορισμένες περιπτώσεις. Μαζί με το άζωτο, το φώσφορο και το κάλιο, είναι ένα σημαντικό θρεπτικό συστατικό για την ανάπτυξη των φυτών.

Ο υψηλός ρυθμός ανάπτυξης των περισσότερων καλλιεργειών ποώδους βιομάζας σημαίνει ότι η συγκέντρωση θείου σε αυτά τα είδη βιομάζας είναι μεγαλύτερη από αυτή της ξυλώδους. Ενώ στο ξύλο, η περιεκτικότητα σε θείο μπορεί να είναι σχεδόν 0% (κάτω δηλαδή από το όριο ανίχνευσης των περισσότερων εργαστηριακών συσκευών) και φτάνει μέχρι 0,1% επί ξηρού σε εξαιρετικές περιπτώσεις, δείγματα ποώδους βιομάζας μπορεί να έχουν περιεκτικότητα σε θείο που κυμαίνεται από 0 έως 0,2% ή και περισσότερο. Σε κλάσματα αποβλήτων, τιμές μέχρι και 1 % έχουν αναφερθεί. Σε κάθε περίπτωση, το θείο αυτών των καυσίμων είναι χαμηλότερο σε σχέση με τους περισσότερους άνθρακες και ορισμένους τύπους υγρών ορυκτών καυσίμων.

Κατά την καύση, το θείο συνήθως οξειδώνεται και έχει μια πολύ μικρή συνεισφορά στη συνολική θερμογόνο ικανότητα. Ωστόσο, η πιο σημαντική του επίδραση αφορά στις αέριες εκπομπές, στον καθαρισμό του παραγόμενου αερίου σύνθεσης σε εφαρμογές αεριοποίησης και σε θέματα διάβρωσης.

Χλώριο (Cl)

Είναι η πιο σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ της ποώδους και της απορριπτόμενης βιομάζας από τη μια και της ξυλώδους βιομάζας και των ανθράκων από την άλλη. Ενώ το χλώριο είναι παρόν σε αμελητέα σχεδόν ποσοστά στους άνθρακες και στο ξύλο (< 0,05 % επί ξηρού), οι

πρώτες ύλες πωόδους βιομάζας έχουν περιεκτικότητα χλωρίου που κυμαίνεται από μικρότερη του 0,1% σε 2% ή περισσότερο. Το χλώριο απορροφάται από τη φυτά από διάφορες περιβαλλοντικές πηγές και παίζει ρόλο σε ορισμένες φυσιολογικές τους λειτουργίες. Στα κλάσματα αποβλήτων, το κύριο μέρος του χλωρίου προέρχεται από το αλάτι που περιέχεται στα υπολείμματα φαγητού και από το πλαστικό (PVC) που μπορεί να περιέχεται στο οργανικό κλάσμα.

Κατά την καύση, το χλώριο μεταφέρεται σχεδόν πλήρως στην αέρα φάση και σχηματίζει HCl, Cl₂ και χλωριούχα αλκάλια. Τα προβλήματα που σχετίζονται με το χλώριο αφορούν θέματα εκπομπών (διοξίνες, διευκόλυνση σχηματισμού αερολυμάτων) και λειτουργίας (επικαθίσεις και διάβρωση μεταλλικών επιφανειών). Το χλώριο δεν είναι αποκλειστικά υπεύθυνο για αυτά τα θέματα (για τη διάβρωση και τις επικαθίσεις για παράδειγμα). Η επίδραση του χλωρίου εξαρτάται και από την περιεκτικότητα της βιομάζας σε αλκάλια. Γενικά πάντως, εάν το χλώριο είναι άνω του 0,1% κ.β. επί ξηρού τότε αναμένονται προβλήματα.

Οξυγόνο (O)

Είναι ένα κύριο στοιχείο σε κάθε καύσιμο βιομάζας, όπως προφανώς προκύπτει από τη διεργασία φωτοσύνθεσης και τη χημική σύσταση των συστατικών της βιομάζας. Το οξυγόνο στο καύσιμο μειώνει την ποσότητα του απαιτούμενου αέρα για την καύση και βρίσκεται στα προϊόντα της καύσης ως χημικά δεσμευμένο στα μόρια του CO₂ και του H₂O. Σημειώνεται ότι το οξυγόνο δε μετράται άμεσα εργαστηριακά. Η κατά βάρος σύστασή του εκτιμάται με την αφαίρεση από το 100% των συστάσεων όλων των άλλων στοιχείων (C, H, N, S, Cl) και της περιεκτικότητας σε τέφρας του ξηρού καυσίμου.

1.4.4. Η περιεκτικότητα σε τέφρα

Η ποσότητα και η σύσταση της τέφρας (στάχτη) στη βιομάζα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες μεταξύ των οποίων είναι η προέλευση της βιομάζας, οι συνθήκες καλλιέργειας και συλλογής της, το είδος της λίπανσης της καλλιέργειας, την αποθήκευσή της και τις συνθήκες μεταφοράς της. Σημαντικός είναι και ο ρόλος της προεπεξεργασίας της βιομάζας πριν την εισαγωγή της στη διεργασία μετατροπής της σε καύσιμα ή ενέργεια. Η πλειοψηφία των παραπάνω παραγόντων είναι διαχειρίσιμη, οπότε είναι πιθανή η μείωση υψηλών τιμών τέφρας σε αποδεκτό επίπεδο. Η περιεκτικότητα σε τέφρα μπορεί να είναι χαρακτηριστική είτε της ίδιας της βιομάζας είτε να μεταβάλλεται κατά την συλλογή, μεταφορά αποθήκευση και επεξεργασία της. Συνεπώς, η τιμή της περιεκτικότητας σε τέφρα μπορεί να μεταβάλλεται σημαντικά από την μια πηγή βιομάζας στην άλλη.

Ο βασικότερος λόγος για τον οποίο είναι επιθυμητή η λιγότερη τέφρα έχει να κάνει με την επίδρασή της στο ενεργειακό περιεχόμενο της βιομάζας. Σε αντιστοιχία με την υγρασία, καθώς η τέφρα είναι ένας τρόπος εκτίμησης της μη καύσιμης ανόργανης ύλης της βιομάζας, επιδρά σημαντικά στο ενεργειακό περιεχόμενό της. Βασικά αυτές οι δύο παράμετροι ευθύνονται περισσότερο για τις διαφοροποιήσεις της ενέργειας κάθε βιομάζας: εάν τέφρα και υγρασία δεν

ληφθούν υπόψη, τότε οι περισσότερες πηγές βιομάζας θα έχουν παραπλήσιο ενεργειακό περιεχόμενο. Για να γίνει πρακτικά κατανοητή η επίδραση της τέφρας, εκτιμάται πως το ενεργειακό περιεχόμενο υπολειμματικής φυτικής βιομάζας με μηδενική τέφρα και υγρασία είναι περίπου 4,7 kWh/kg. Εάν η υγρασία αυξηθεί στο 15% και η τέφρα παραμείνει στο μηδέν, το ενεργειακό περιεχόμενο μειώνεται στις 4,2 kWh/kg. Αν στην τελευταία περίπτωση αυξηθεί και η τέφρα στο 2% υπάρχει περαιτέρω μείωση του περιεχομένου στα 3,9 kWh/kg. Τέλος, βιομάζα με υγρασία 15% και τέφρα 10% έχει ενεργειακό περιεχόμενο περίπου 3,6 kWh/kg. Πρέπει να σημειωθεί ότι η περιεκτικότητα σε τέφρα παρουσιάζεται ως κλάσμα βάρους επί της ξηράς ουσίας.

Σε πολλές διεργασίες ενεργειακής αξιοποίησης βιομάζας δεν είναι μόνο η ποσότητα της τέφρας που έχει σημασία αλλά, επίσης, και η χημική της σύσταση, καθώς η τέφρα συνεπάγεται την παραγωγή αποβλήτου που πρέπει να επεξεργαστεί και να απομακρυνθεί. Η σύσταση της τέφρας επηρεάζει τις θερμοχημικές διεργασίες μετατροπής (π.χ. καύση, αεριοποίηση, πυρόλυση) εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται. Η τηγμένη τέφρα, που μπορεί να προκύψει αναλόγως της χημικής σύστασής της τέφρας, απομακρύνεται και συλλέγεται δύσκολα και μπορεί να δημιουργήσει επικαθίσεις σε τμήματα του μηχανολογικού εξοπλισμού, αυξάνοντας τα κόστη συντήρησης, το κόστος λειτουργίας και τελικά, ολόκληρη την επένδυση. Μόνο υπό συγκεκριμένες συνθήκες και για επιλεγμένες πρώτες ύλες μπορεί να προκύψει τέφρα ικανή να χρησιμοποιηθεί ως χρήσιμο παραπροϊόν και να έχει εμπορική αξία. Σε διεργασίες βιοχημικής μετατροπής οι μηχανισμοί επίδρασης της τέφρας δεν έχουν ξεκαθαρισθεί πλήρως. Εντούτοις, έχει αποδειχθεί ότι ανόργανα συστατικά μπορούν να δράσουν ανασταλτικά στη ζύμωση της βιομάζας καθώς και στην αναερόβια χώνευση αποβλήτων.

1.4.5. Περιεχόμενα αλκαλικά μέταλλα

Τα αλκαλικά μέταλλα που περιέχονται στη βιομάζα (Na, K, Mg, P, Ca) είναι πολύ σημαντικά για οποιαδήποτε θερμοχημική διαδικασία. Η αντίδραση των αλκαλικών μετάλλων με το περιεχόμενο στη τέφρα πυρίτιο παράγει ένα κολλώδες υγρό, το οποίο μπορεί να φράξει τους αεραγωγούς του λέβητα και του κλιβάνου. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι αυτό είναι πιθανόν να συμβεί ακόμη κι αν η φυσική περιεκτικότητα του πυριτίου στη βιομάζα είναι χαμηλή. Κατά την συλλογή της βιομάζας ποσότητες χύματος εισέρχονται στο χώρο επεξεργασίας αυτής, με αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση του ποσοστού του πυριτίου. Άμεση συνέπεια των παραπάνω είναι η εμφάνιση σημαντικών λειτουργικών δυσκολιών.

1.4.6. Αναλογία κυτταρίνης - λιγνίνης

Η μέτρηση της κυτταρίνης και της λιγνίνης για μια βιομάζα δεν είναι πάντα πραγματοποιήσιμη, ιδίως σε εφαρμογές καύσης. Η κατανομή σε κυτταρίνη και λιγνίνη είναι πιο σχετική στην περίπτωση της παραγωγής υγρών βιοκαυσίμων και σε περιπτώσεις βιοχημικών διεργασιών μετατροπής (αναερόβια χώνευση και ζύμωση). Η λιγνίνη αποτελεί το πιο δύσκολο συστατικό στη χώνευση και μπορεί, εάν είναι παρούσα σε μεγάλες ποσότητες, να δημιουργήσει

προβλήματα ή να ρίξει το συνολικό βαθμό μετατροπής σε αναερόβιους χωνευτήρες, ενώ η κυτταρίνη δεν είναι εύκολα ζυμώσιμη και μπορεί να προκαλέσει προβλήματα σε μονάδες παραγωγής αιθανόλης.

Μια σημαντική διαφορά της πούδους βιομάζας εν συγκρίσει με την ξυλώδη βιομάζα είναι η χαμηλότερη περιεκτικότητα σε λιγνίνη και η αυξημένη συγκέντρωση κυτταρίνης. Η περιεκτικότητα λιγνίνης της πούδους βιομάζας κυμαίνεται συνήθως από 15% μέχρι λίγο πάνω του 20%. Καθώς η λιγνίνη είναι λιγότερη οξειδωμένη (περιέχει δηλαδή λιγότερο οξυγόνο) σε σχέση με την κυτταρίνη, έχει υψηλότερη θερμογόνο ικανότητα. Αυτό συνήθως μεταφράζεται σε χαμηλότερη θερμογόνο ικανότητα της πούδους βιομάζας σε σχέση με την ξυλώδη ή κάποια αγροβιομηχανικά υπολείμματα, π.χ. το ελαιοπυρηνόξυλο. Η μικρότερη περιεκτικότητα σε λιγνίνη επηρεάζει σε κάποιο βαθμό και την ταχύτητα καύσης

1.5. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Η βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε χρήσιμες ενεργειακές μορφές με έναν σημαντικό αριθμό διαφορετικών διαδικασιών. Οι κυριότεροι παράγοντες, που επηρεάζουν την διαδικασία μετατροπής της, είναι: το είδος και η ποσότητα της βιομάζας, η επιθυμητή μορφή ενέργειας, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και οι οικονομικές συνθήκες. Βέβαια στις περισσότερες περιπτώσεις, η επιθυμητή μορφή ενέργειας σε συνδυασμό με το είδος και την ποσότητα της βιομάζας, καθορίζουν τη μέθοδο μετατροπής.

Η ενεργειακή μετατροπή της βιομάζας, δίνει τρία κύρια ενεργειακά προϊόντα: θερμική, ηλεκτρική ενέργεια και καύσιμο μεταφοράς. Οι διαδικασίες οι οποίες ακολουθούνται για την παραγωγή του επιθυμητού προϊόντος χωρίζονται σε δύο κύριες μεθόδους μετατροπής: τη θερμοχημική μέθοδο και τη βιοχημική μέθοδο.

Στις θερμοχημικές διεργασίες χρησιμοποιούνται οι εξής τρεις βασικές μέθοδοι:

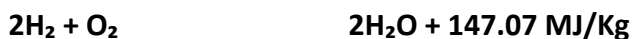
- Η καύση
- Η αεριοποίηση
- Η πυρόλυση

Στις βιοχημικές διεργασίες οι μέθοδοι οι οποίες χρησιμοποιούνται είναι:

- Η αλκοολική ζύμωση
- Η αναερόβια χώνευση

1.5.1. Καύση

Σαν καύση ορίζεται η εξώθερμη οξείδωση των χημικών στοιχείων. Οι βασικές αντιδράσεις που περιγράφουν το παραπάνω φαινόμενο είναι:



Τέλεια καύση ονομάζεται η πλήρης καύση του άνθρακα και του υδρογόνου και η παραγωγή CO_2 και H_2O . Για να εξασφαλιστεί η καύση ολόκληρης της ποσότητας του υπάρχοντος καυσίμου, είναι συνήθως απαραίτητη μία επιπλέον ποσότητα αέρα, η οποία ονομάζεται περίσσεια αέρα. Η ποσότητα αυτή είναι απαραίτητη λόγω της μη τέλει μίξης καυσίμου-αέρα και εξαρτάται από το είδος και την ποιότητα του καυσίμου καθώς και από τον βαθμό ανάμιξης καυσίμου-αέρα.

Η απευθείας καύση είναι ο πιο συνηθισμένος τρόπος μετατροπής βιομάζας σε θερμότητα και ηλεκτρική ενέργεια, και παγκοσμίως παρέχει το 90% της ενέργειας που παράγεται από βιομάζα. Συγκρινόμενη με τις υπόλοιπες θερμοχημικές διεργασίες (αεριοποίηση, πυρόλυση), είναι πιο απλή και περισσότερο αναπτυγμένη. Η τεχνολογία της καύσης έχει αναπτυχθεί σημαντικά με εμφάνιση νέων συστημάτων αυτόματης τροφοδοσίας βιομάζας. Η καύση πραγματοποιείται σε εστίες με σταθερές ή κινούμενες εσχάρες είτε σε λέβητες ρευστοποιημένης κλίνης. Τα τελευταία χρόνια εξετάζεται η ταυτόχρονη καύση μικρών ποσοτήτων βιομάζας και άνθρακα.

Συστήματα σταθερής κλίνης

Είναι η πιο διαδεδομένη τεχνολογία για την αποκλειστική καύση πωδους βιομάζας. Είναι κατάλληλη για κάθε είδος προβληματικού στερεού καυσίμου, π.χ. υψηλής υγρασίας, υψηλής περιεκτικότητας σε τέφρα και μεγάλου μεγέθους σωματιδίων. Η καύση σε αυτές τις μονάδες συνήθως λαμβάνει χώρα σε μια εσχάρα που βρίσκεται στον πυθμένα του λέβητα. Η καύσιμη βιομάζα τεμαχίζεται ή κόβεται πριν εισέλθει στον λέβητα, αλλά δε χρειάζεται να κονιοποιηθεί πλήρως. Με την είσοδό του στο θάλαμο καύσης, το καύσιμο αεριοποιείται πάνω στην εσχάρα. Τα θερμά καυσαέρια καίγονται στα άνω επίπεδα του θαλάμου καύσης, ενώ το εναπομένον εξανθράκωμα καίγεται στην εσχάρα και το μεγαλύτερο μέρος της παραγόμενης τέφρας συλλέγεται στο κατώτερο επίπεδο της εσχάρας. Μέρος της τέφρας παρασύρεται από τα καυσαέρια και πρέπει να συλληχθεί από κατάλληλα συστήματα καθαρισμού, όπως ηλεκτροστατικά φίλτρα.

Η κίνηση του καυσίμου πάνω στην εσχάρα μπορεί να γίνεται μέσω της βαρύτητας και μόνο (σταθερές εσχάρες) ή με την εφαρμογή κάποιου είδους κίνησης της εσχάρας, από την οποία παίρνουν και το όνομά τους οι διάφοροι τύποι τεχνολογιών: σταθερές, δονούμενες, κυλιόμενες, μετακινούμενες ή περιστρεφόμενες εσχάρες. Οι σταθερές εσχάρες αποτελούν την απλούστερη και χαμηλότερου κόστους επένδυσης επιλογή, προσφέρουν όμως το μικρότερο έλεγχο των συνθηκών καύσης. Επιπρόσθετα, είναι πιο ευάλωτες στα προβλήματα που προκαλούν τα τηγμένα σωματίδια τέφρας. Οι δονούμενες εσχάρες χρησιμοποιούνται συχνά με καύσιμα που

χαρακτηρίζονται από χαμηλές θερμοκρασίες τήξης τέφρας, όπως το άχυρο, καθώς η συνεχής δόνηση αποτρέπει το σχηματισμό μεγάλων συσσωματωμάτων τηγμένης τέφρας. Ωστόσο, η δόνηση μεταφέρει τελικά περισσότερο σωματίδια τέφρας στα καυσαέρια και επομένως, απαιτούνται πιο δραστικά μέτρα καθαρισμού των καυσαερίων

Εικόνα 1.2: Εσωτερικό θαλάμου καύσης με κινούμενες εσχάρες

Συστήματα ρευστοποιημένης κλίνης

Αναπτύχθηκαν αρχικά τη δεκαετία του 1970 για χρήση με άνθρακες υψηλής περιεκτικότητας σε θείο, η καύση των οποίων σε συμβατικά συστήματα θα οδηγούσε σε μη επιτρεπόμενα επίπεδα εκπομπών SO_x. Η κύρια ιδέα πίσω από την τεχνολογία αυτή είναι η καύση του καυσίμου σε μια κλίνη γεμάτη από ένα «αδρανές» πληρωτικό υλικό, ενώ ο αέρας τροφοδοτείται από τον πυθμένα του θαλάμου καύσης. Εφόσον η ταχύτητα του αέρα είναι αρκετά μεγάλη, τα σωματίδια της κλίνης και του καυσίμου παρασύρονται και αιωρούνται και είναι στην πράξη «ρευστοποιημένα». Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι ρευστοποιημένων κλινών: οι αναβράζουσες ρευστοποιημένες κλίνες (BFB, Bubbling Fluidized Bed) και οι ρευστοποιημένες κλίνες ανακυκλοφορίας (CFB, Circulating Fluidized Bed). Στις αναβράζουσες ρευστοποιημένες κλίνες η ταχύτητα του αέρα είναι σχετικά χαμηλή και τα σωματίδια σχηματίζουν μια σαφώς καθορισμένη ζώνη στο θάλαμο καύσης, η οποία θυμίζει ένα αναβράζον υγρό. Στις ρευστοποιημένες κλίνες ανακυκλοφορίας η ταχύτητα ρευστοποίησης είναι μεγαλύτερη και τα σωματίδια εξέρχονται συνεχώς από το θάλαμο καύσης και πρέπει να «ανακυκλοφορήσουν» πίσω σε αυτόν αφού περάσουν από έναν κυκλώνα διαχωρισμού μεγέθους.

Τα συστήματα ρευστοποιημένων κλινών παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα:

- Είναι ικανά να λειτουργούν με μεγάλο εύρος καυσίμων, με μεγάλες διακυμάνσεις ως προς το μέγεθος σωματιδίων, την περιεκτικότητα σε υγρασία και τέφρα.
- Έχουν μεγάλη θερμοχωρητικότητα και έτσι μπορούν να συνεχίσουν να λειτουργούν ακόμα κι αν η παροχή καυσίμου σταματήσει για μερικά λεπτά.
- Ο χρόνος παραμονής των σωματιδίων του καυσίμου είναι αρκετά μεγάλος. Έτσι, μπορεί να επιτευχθεί υψηλός βαθμός απόδοσης σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας, με το πρόσθετο πλεονέκτημα της μείωσης των εκπομπών των θερμικών NO_x.
- Με χρήση κατάλληλων πρόσθετων στη ρευστοποιημένη κλίνη, τα εκπεμπόμενα SO_x μπορούν να απορροφηθούν και να ελαχιστοποιηθούν χωρίς την καταφυγή σε ακριβά συστήματα δευτερεύοντος καθαρισμού.

Υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας, όπως το υψηλό σωματιδιακό φορτίο που απαιτεί ιδιαίτερα αποδοτικά συστήματα απομάκρυνσης της σκόνης από τα καυσαέρια και η αυξημένη μηχανική διάβρωση των επιφανειών που είναι εκτεθειμένες στην

κλίνη των σωματιδίων. Το πιο σημαντικό θέμα πάντως, και αυτό που αφορά περισσότερο την καύση ποώδους βιομάζας είναι το φαινόμενο που ονομάζεται συσσωμάτωση.

Η ποώδης βιομάζα χαρακτηρίζεται συνήθως από χαμηλές θερμοκρασίες τήξης τέφρας. Έτσι, τα σωματίδια της τέφρας που βρίσκονται στη ζώνη ρευστοποίησης είναι συχνά λιωμένα ή μισολιωμένα και κολλούν στην επιφάνεια των σωματιδίων της κλίνης, τα οποία με τη σειρά τους αρχίζουν να σχηματίζουν μεγαλύτερα συσσωματώματα. Αν το μέγεθος αυτών των συσσωματωμάτων γίνει αρκετά μεγάλα, τότε η ταχύτητα αέρα δεν επαρκεί πλέον για τη ρευστοποίηση και αυτά πέφτουν στον πυθμένα, οδηγώντας έτσι σε διακοπές λειτουργίας. Τα αλκάλια που περιέχονται στην ποώδη βιομάζα μπορούν επίσης να αντιδράσουν με το πληρωτικό υλικό της κλίνης και να σχηματίσουν ευτηκτικές ενώσεις. Οι ρευστοποιημένες κλίνες υπόκεινται επίσης στα προβλήματα επικαθίσεων και διάβρωσης που παρατηρούνται κατά την καύση βιομάζας με υψηλές συγκεντρώσεις χλωρίου και αλκαλίων. Τέλος, οι ρευστοποιημένες κλίνες συνεπάγονται μεγαλύτερο κόστος επένδυσης σε σχέση με τους λέβητες εσχάρας.

1.5.2. Πυρόλυση

Η πυρόλυση είναι μια φυσικοχημική μέθοδος αποσύνθεσης της οργανικής ύλης, που επιτυγχάνεται με θέρμανση απουσία αέρος. Με τη διαδικασία της πυρόλυσης είναι δυνατή η παραγωγή αερίων και στερεών προϊόντων υψηλής θερμοαντικειμενικής αξίας καθώς επίσης και υγρών κατάλληλων να αντικαταστήσουν προϊόντα που βασίζονται στο πετρέλαιο.

	Κάρβουνο	Απόδοση μέχρι 35%
Πυρόλυση	Βιοέλαιο	Απόδοση μέχρι 80%
	Αέρια Καύσιμα	Απόδοση μέχρι 80%

Σχήμα 1.1: Ενεργειακά προϊόντα πυρόλυσης

Από τα παραγόμενα προϊόντα της πυρόλυσης υψηλότερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το βιοέλαιο. Το κάρβουνο που παράγεται συνήθως πωλείται ή χρησιμοποιείται καλύπτοντας ορισμένες θερμικές ανάγκες της διαδικασίας. Το παραγόμενο αέριο είναι μέτριας θερμοαντικειμενικής ισχύος και η χρήση του επικεντρώνεται στην παροχή θερμότητας κατά την μετατροπή της βιομάζας. Εναλλακτικά το αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ξήρανση τροφίμων, αφού τα περισσότερα απαιτούν ήπια ξήρανση. Το παραγόμενο βιοέλαιο αποτελεί μίγμα τετρακοσίων και πλέον οξυγονούχων οργανικών ενώσεων ενώ η σύστασή του ποικίλει ανάλογα με τη πηγή προέλευσης της βιομάζας. Γενικά πάντως, οι κύριες ενώσεις που είναι παρούσες στο βιοέλαιο

ανήκουν στις ακόλουθες ομάδες: οξέα, αλκοόλες, αλδεΐδες, εστέρες, κετόνες, σάκχαρα και φαινόλες. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο του πετρελαίου (έχει περίπου μισή θερμογόνο δύναμη του πετρελαίου), σε εφαρμογές θέρμανσης (λέβητες, φούρνους κ.λ.π.) αλλά και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (μηχανές εσωτερικής καύσης κ.ά.). Οι βασικές ιδιότητες του καυσίμου αυτού φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Βιοέλαιο		Diesel
Πυκνότητα Kg/m ³ στους 15 °C		854
Σύνθεση (%)	C	48.5
	H	6.4
	O	42.5
	S	-
Στάχτη (%κ.β.)		0.13
Θειικά (%κ.β.)		0
Νερό (%κ.β.)		0.15
LHV (MJ/Kg)		20.5
Οξύτητα (pH)		17.5
		42.9
		3
		-

Πίνακας 1.2: Ιδιότητες βιοελαίου, Diesel

Η πυρόλυση μπορεί να γίνει σε χαμηλή σχετικά θερμοκρασία (κάτω από 600 °C) και σε πολύ υψηλή (600 - 1100 °C). Η πυρόλυση σε θερμοκρασία μέχρι 600 °C θεωρείται σήμερα σαν πιο κατάλληλη για την επεξεργασία γεωργικών λυμάτων με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας. Κατά την πυρόλυση διακρίνονται τέσσερις βασικές φάσεις απόσταξης:

φάση (100 - 120 °C): Αποξήρανση πρώτης ύλης. Η αποξήρανση μπορεί να γίνει μέσα στον αποστακτήρα ή σε ξηραντήριο τοποθετημένο σε σειρά στην εγκατάσταση.

φάση (270 - 280 °C): Σχηματισμός του πρώτου αποστάγματος που περιέχει λίγο οξικό οξύ και μεθανόλη.

φάση (280 - 350 °C): Η κυρίως εξωθερμική αντίδραση αρχίζει στους 280 °C με την απελευθέρωση ορισμένων αερίων. Με την άνοδο της θερμοκρασίας δημιουργείται ένα σύμπλεγμα μίγματος υγρών που συνοδεύεται από διάφορα αέρια.

φάση (350 - 600 °C): Στους 350 °C τελειώνει η φάση των κυριότερων χημικών αντιδράσεων και απαιτείται μεγαλύτερο ποσό θερμότητας για την εξαγωγή των υπόλοιπων πτητικών ενώσεων από τους ξυλάνθρακες που παραμένουν στον πυθμένα του αποστακτήρα.

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που παρουσιάζονται κατά την πυρόλυση είναι η χαμηλή θερμική σταθερότητα και η υψηλή ικανότητα διάβρωσης του παραγόμενου βιοελαίου. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού έχουν αναπτυχθεί τεχνικές μείωσης του περιεχόμενου στο βιοέλαιο οξυγόνου και απομάκρυνσης από αυτό των αλκαλικών ουσιών.

1.5.3. Αεριοποίηση

Η αεριοποίηση της βιομάζας είναι μια ενδόθερμη θερμική διεργασία κατά την οποία η στερεή βιομάζα μετατρέπεται σε καύσιμο αέριο. Το παραγόμενο αυτό αέριο αποτελεί μίγμα πολλών καύσιμων (και μη) αερίων: μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα (CO , CO_2), υδρογόνο (H_2), μεθάνιο (CH_4), υδρατμοί (H_2O), ίχνη υδρογονανθράκων (π.χ. C_2H_6 , C_2H_4) και άζωτο (N_2 , σε περίπτωση που για την διεργασία χρησιμοποιείται αέρας και όχι καθαρό οξυγόνο). Πέραν των παραπάνω ενώσεων στο αέριο προϊόν εμφανίζονται και διάφοροι επιμολυντές κυριότεροι εκ των οποίων είναι η σωματίδια πίσσας, τέφρα, αμμωνία, οξέα και σύνθετοι υδρογονάνθρακες.

Το καύσιμο προϊόν της διεργασίας αεριοποίησης ονομάζεται αέριο σύνθεσης (syngas). Σε περίπτωση που η διεργασία γίνει με τη χρήση αέρα (η πιο οικονομική και συνήθης επιλογή), το αέριο σύνθεσης έχει καθαρή θερμογόνο δύναμη περίπου $4,6 \text{ MJ/m}^3$ (περίπου το 1/7 εκείνης του φυσικού αερίου). Όταν χρησιμοποιείται καθαρό οξυγόνο αντί για αέρας, η θερμογόνο δύναμη του αερίου μπορεί ακόμα και να τριπλασιασθεί. Και στις δυο περιπτώσεις, πάντως, η θερμογόνο δύναμη κάνει το αέριο σύνθεσης κατάλληλο για την παραγωγή θερμότητας ή ηλεκτρισμού, με κατάλληλη χρήση του σε καυστήρες και αεριοστρόβιλους.

Από χημικής πλευράς, η διεργασία της αεριοποίησης της βιομάζας είναι αρκετά σύνθετη και περιλαμβάνει, κατά σειρά, τα ακόλουθα επιμέρους στάδια: αποσύνθεση της οργανικής βιομάζας σε μη συμπυκνώσιμο αέριο, υδρατμούς και πίσσα, θερμική διάσπαση των ατμών σε αέριο σύνθεσης και πίσσα, αεριοποίηση της πίσσας και μερική οξειδωση του αερίου σύνθεσης, των ατμών και της πίσσας. Η απαιτούμενη θερμότητα για την αεριοποίηση της βιομάζας παρέχεται από την καύση μέρους της αρχικής ποσότητας της βιομάζας.

Η βασική διαδικασία που ακολουθείται κατά την αεριοποίηση είναι η τοποθέτηση του στερεού καυσίμου σε υψηλή θερμοκρασία της τάξης των $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ παρουσία οξυγόνου και ατμού. Η πίεση μπορεί να κυμαίνεται από τιμές λίγο μεγαλύτερες από την ατμοσφαιρική πίεση μέχρι τριάντα φορές πάνω από την ατμοσφαιρική. Αρχικά απελευθερώνονται τα πτητικά υλικά. Η αλληλεπίδραση του καυσίμου με το οξυγόνο και τον ατμό έχει σαν συνέπεια την παραγωγή ενός μείγματος αερίου αποτελούμενου κατά κύριο λόγο από μονοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο, κάποια ποσότητα μεθανίου, άλλων υδρογονανθράκων αλλά και πίσσας. Παράλληλα παράγεται διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Περεταίρω συνέχιση της διαδικασίας θα έχει σαν συνέπεια την παραγωγή καθαρότερου αερίου προϊόντος. Αν αντί για οξυγόνο χρησιμοποιηθεί αέρας, θα υπάρχει επίσης άζωτο στο παραγόμενο αέριο με αποτέλεσμα το αέριο καύσιμο που θα παραχθεί να έχει ενεργειακό περιεχόμενο της τάξης των $3\text{-}5 \text{ MJ/m}^3$. Η χρήση καθαρού οξυγόνου έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή καλύτερου καυσίμου, έχει όμως αυξημένο κόστος, επομένως συμφέρει να χρησιμοποιηθεί μόνο αν γίνεται παραγωγή σε μεγάλη κλίμακα.

Πιο αναλυτικά, κατά την αεριοποίηση λαμβάνουν χώρα διαδοχικές χημικές διεργασίες. Αρχικά, καθώς ζεσταίνεται το στερεό καύσιμο απελευθερώνονται τα πτητικά υλικά και στη συνέχεια πυρόλυση και το καύσιμο χάνει το 70% του βάρους του. Στη συνέχεια πραγματοποιείται καύση με λ μικρότερο από το στοιχειομετρικό (δηλαδή πλούσιο σε καύσιμο μείγμα). Τα πτητικά προϊόντα και μέρος του στερεού καυσίμου αντιδρούν με το οξυγόνο παράγοντας διοξείδιο και μονοξείδιο του άνθρακα παρέχοντας την απαραίτητη θερμότητα για τη συνέχιση των αντιδράσεων της αεριοποίησης. Η αντίδραση που λαμβάνει χώρα στο στάδιο αυτό, αν αναπαραστήσουμε το καύσιμο με έναν άνθρακα είναι η ακόλουθη:



Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η αεριοποίηση του στερεού καυσίμου όπου έχουμε τις παρακάτω αντιδράσεις:



Αυτό που συμβαίνει κατά τη διάρκεια της παραπάνω διαδικασίας στη ουσία είναι ότι επιτρέπουμε σε μικρή ποσότητα οξυγόνου να αντιδράσει με το καύσιμο, πραγματοποιώντας ατελή καύση, με αποτέλεσμα την παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα και ενέργειας που έχει σαν συνέπεια την πρόκληση περεταίρω αντιδράσεων που καταλήγουν στην παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα και υδρογόνου. Στο τέλος της διαδικασίας το αέριο που παράγεται έχει βρεθεί σε μια ισορροπία με συγκεκριμένες συγκεντρώσεις από όλα τα παραπάνω συστατικά.

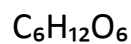
Καθοριστικό ρόλο στη διεργασία αεριοποίησης έχει και το είδος της φυτικής βιομάζας. Οι ιδιότητες της μπορεί να διαφέρουν σημαντικά αναλόγως την προέλευση της βιομάζας, με άμεση συνέπεια στην τεχνολογία της διεργασίας και την βιωσιμότητα της μονάδας. Οι παράμετροι της βιομάζας που εξετάζονται περισσότερο είναι η υγρασία του υλικού, η περιεκτικότητα της σε τέφρα, η στοιχειακή της ανάλυση, η θερμογόνος δύναμή της, η πυκνότητα και η κοκκομετρία της.

Πρέπει να τονισθεί ότι το αέριο σύνθεσης δεν χρησιμοποιείται απευθείας, καθώς εξέρχεται από τον αντιδραστήρα, στις μηχανές παραγωγής ενέργειας. Είναι απαιτούμενη η προεπεξεργασία του ώστε να μειωθούν οι ποσότητες των ακαθαρσιών που περιέχονται σε αυτό (πίσσα, αμμωνία, θείο, κ.λπ.) καθώς και η ψύξη του. Παράλληλα, εκτός του αερίου σύνθεσης, η διεργασία παράγει και κάποιες ποσότητες πίσσας (η ποσότητας της οποίας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως π.χ. το είδος της βιομάζας). Εξαιτίας της υψηλής θερμογόνου δύναμης της, ως βέλτιστος τρόπος διαχείρισής της πίσσας θεωρείται η ενεργειακή εκμετάλλευσή της εντός της μονάδας αεριοποίησης. Αναμφίβολα η αεριοποίηση της βιομάζας είναι μια τεχνολογία πιο πολύπλοκη και με λιγότερες εμπορικές εφαρμογές, σε σχέση με την συνήθη καύση της βιομάζας. Τα πλεονεκτήματα, όμως, που παρουσιάζει, με κυριότερο όλων την

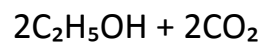
πολύ μεγάλη αύξηση της ενεργειακής απόδοσης της μονάδας, έχει οδηγήσει στον διαρκή πολλαπλασιασμό τέτοιου είδους μονάδων τα τελευταία χρόνια.

1.5.4. Αλκοολική ζύμωση

Η αλκοολική ζύμωση είναι μια βιολογική μέθοδος μετατροπής της βιομάζας σε αιθανόλη. Σχεδόν όλα τα φυτικά υλικά περιέχουν σάκχαρα ή πιο σύνθετες σακχαρικές ενώσεις. Οι ενώσεις αυτές μετατρέπονται σε αιθανόλη παρουσία μικροοργανισμών (ζύμες), οι οποίοι είναι απλοί μονοκύτταροι μύκητες και συγκεκριμένα του γένους των σακχαρομυκητών. Η διαδικασία είναι αρκετά πολύπλοκη αλλά μπορεί να εκφραστεί περιληπτικά με την αντίδραση:



(γλυκόζη)



(αιθανόλη)

Η ζύμωση εξαρτάται από πολλούς παράγοντες οι σημαντικότεροι των οποίων είναι το pH του υλικού και η θερμοκρασία. Το άριστο pH για την δραστηριότητα των μικροοργανισμών είναι μεταξύ 3 και 5, ενώ η ιδανική θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 27 - 35 °C. Ως πρώτη ύλη συνήθως χρησιμοποιούνται ζαχαρούχες καλλιέργειες όπως το ζαχαροκάλαμο και τα ζαχαρότευτλα, ενώ συχνή είναι η χρήση προϊόντων, όπως η πατάτα και το καλαμπόκι.

1.5.5. Αναερόβια Χώνευση

Η αναερόβια χώνευση είναι μια βιοχημική διεργασία ενεργειακής μετατροπής της βιομάζας, απουσία οξυγόνου, σε αέριο καύσιμο, το οποίο είναι γνωστό ως βιοαέριο. Το βιοαέριο είναι ένα μίγμα μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα, η καύση του οποίου μπορεί να δώσει θερμική και ηλεκτρική ενέργεια. Σαν πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαερίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν κτηνοτροφικά, φυτικά και αστικά λύματα, με την προϋπόθεση ότι αυτά βρίσκονται σε ανάμιξη με νερό και σε αναλογία μέχρι 30% σε ξηρή ουσία.

Σχήμα 1.2: Μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο

1.6. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρησιμοποίηση της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας είναι τα ακόλουθα:

- Η καύση της βιομάζας έχει μηδενικό ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), δεν συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου καθώς οι ποσότητες του διοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώνονται κατά την καύση της βιομάζας δεσμεύονται πάλι από τα φυτά για τη εκ νέου δημιουργία της.
- Η μηδαμινή ύπαρξη του θείου στη βιομάζα συμβάλλει σημαντικά στον περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του θείου (SO₂) που είναι κυρίως υπεύθυνο για την όξινη βροχή.
- Εφόσον η βιομάζα είναι εγχώρια πηγή ενέργειας, η αξιοποίησή της σε ενέργεια συμβάλλει σημαντικά στη μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα και βελτίωση του εμπορικού ισοζυγίου, στην εξασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού και στην εξοικονόμηση του συναλλάγματος.
- Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας σε μια αγροτική περιοχή, αυξάνει την απασχόληση με τη χρήση εναλλακτικών καλλιεργειών και τη δημιουργία νέων μονάδων παραγωγής συμβάλλοντας έτσι και στη συγκράτηση του πληθυσμού στις εστίες του.

Σχήμα 1.3: Ο κύκλος του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα

Τα μειονεκτήματα που συνδέονται με τη χρησιμοποίηση της βιομάζας και αφορούν, ως επί το πλείστον, δυσκολίες στην εκμετάλλευσή της, είναι τα εξής:

- Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας απαιτεί τις περισσότερες φορές σημαντικές διεργασίες και βελτιώσεις πριν από τη χρήση της, οι οποίες απορρέουν από τα μεγάλα ποσοστά υγρασίας της ακατέργαστης ύλης.
- Σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα προκύπτουν περισσότερες δυσκολίες στις διάφορες διεργασίες συγκομιδής, επεξεργασίας, μεταφοράς και αποθήκευσής της.
- Τα κόστη προμήθειας αλλά και το κόστος των μονάδων παραγωγής βιομάζας παραμένει σήμερα υψηλότερο από αυτά των συμβατικών μορφών παραγωγή ενέργειας.

Εξ αιτίας των παραπάνω μειονεκτημάτων και για την πλειοψηφία των εφαρμογών της, το κόστος της βιομάζας παραμένει, συγκριτικά προς το πετρέλαιο, υψηλό. Ήδη, όμως, υπάρχουν

εφαρμογές στις οποίες η αξιοποίηση της βιομάζας παρουσιάζει οικονομικά οφέλη. Επιπλέον, το πρόβλημα αυτό βαθμιαία εξαλείφεται, αφ' ενός λόγω της ανόδου των τιμών του πετρελαίου, αφ' ετέρου και σημαντικότερο, λόγω της βελτίωσης και ανάπτυξης των τεχνολογιών αξιοποίησης της βιομάζας. Τέλος, πρέπει κάθε φορά να συνυπολογίζεται το περιβαλλοντικό όφελος, το οποίο, αν και συχνά δεν μπορεί να αποτιμηθεί με οικονομικά μεγέθη, εντούτοις είναι ουσιαστικής σημασίας για την ποιότητα της ζωής και το μέλλον της ανθρωπότητας.

Οι κυριότερες εφαρμογές παραγωγής ενέργειας από βιομάζα είναι οι εξής:

- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κυρίως από καύση ξηρής βιομάζας φυτικών και δασικών υπολειμμάτων ή και χρήση βιοαερίου.
- Κάλυψη των αναγκών θέρμανσης και ψύξης θερμοκηπίων, γεωργικών και άλλων βιομηχανιών.
- Τηλεθέρμανση οικισμών και πόλεων για θέρμανση χώρων και εξασφάλιση ζεστού νερού διαμέσου δικτύου αγωγών μεταφοράς.
- Συμπαγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού μέσω συνδυασμένων κύκλων και εφαρμογή σε μεμονωμένα κτίρια ή και ολόκληρους οικισμούς
- Παραγωγή υγρών καυσίμων μέσω βιοχημικών διαδικασιών, για την κίνηση των οχημάτων.
- Παραγωγή θερμότητας και (ή) ηλεκτρισμού με την αναερόβια χώνευση βιοαερίου σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού ή χώρους υγειονομικής ταφής αποβλήτων (ΧΥΤΑ).

1.7. ΤΗΛΕΘΕΡΜΑΝΣΗ

Ένα σύστημα τηλεθέρμανσης είναι μια εγκατάσταση που σκοπό έχει να τροφοδοτήσει με θερμική ενέργεια οικιακούς, εμπορικούς και βιομηχανικούς καταναλωτές μέσω ενός δικτύου μεταφοράς και διανομής της θερμότητας αυτής, από μία ή περισσότερες εγκαταστάσεις παραγωγής θερμότητας. Η θερμότητα διανέμεται προς τα επιμέρους θερμαινόμενα κτίρια με θερμό νερό ή ατμό μέσω σωληνώσεων, και η οικονομική εκμετάλλευση ανήκει σε επιχειρήσεις ή δήμους, όπως στα συστήματα ύδρευσης.

Η πρωτογενής ενέργεια για την παραγωγή της θερμότητας στους σταθμούς παραγωγής η συμπαγωγής, μπορεί να προέρχεται από συμβατικά ορυκτά καύσιμα (λιγνίτης - πετρέλαιο ή φυσικό αέριο) ή πυρηνικά (σε θερμοδυναμικούς κύκλους συμπαγωγής) ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (γεωθερμία, ηλιακή ενέργεια, βιομάζα κλπ.).

Διαφέρει από την κλασική μέθοδο παραγωγής και κατανάλωσης θερμότητας, σύμφωνα με την οποία η εγκατάσταση παραγωγής βρίσκεται στον τόπο κατανάλωσης, π.χ. οικιακοί λέβητες. Γι' αυτό και ονομάστηκε τηλεθέρμανση (district heating).

Η θερμότητα μπορεί να προορίζεται για θέρμανση χώρων και παρασκευή θερμού νερού χρήσης, οπότε η εγκατάσταση χαρακτηρίζεται ως τηλεθέρμανση πόλεων και οικισμών. Αν προορίζεται για βιομηχανική ή γεωργική χρήση, χαρακτηρίζεται αντίστοιχα βιομηχανική και αγροτοβιοτεχνική θερμότητα. Η παραπάνω διάκριση είναι σκόπιμη εξαιτίας της διαφορετικής θερμοκρασίας και του ποσού θερμότητας που απαιτείται. Έτσι τα θερμικά φορτία για θέρμανση χώρων απαιτούν θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 80oC στα δίκτυα της τηλεθέρμανσης. Τα αγροτοβιοτεχνικά φορτία (θερμοκήπια - ξηραντήρια κλπ) απαιτούν χαμηλότερες θερμοκρασίες, ενώ τα βιομηχανικά φορτία καλύπτουν μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών.

Η μεταφορά και διανομή της θερμικής ενέργειας γίνεται με κατάλληλα εγκατεστημένα συστήματα αγωγών και ο φορέας μεταφοράς της θερμότητας είναι θερμό ή υπέρθερμο νερό (δηλαδή νερό σε θερμοκρασίες πάνω από 100°C, το οποίο σε ατμοσφαιρική πίεση θα γινόταν ατμός, παραμένει όμως νερό σε υψηλότερες πιέσεις που επικρατούν στο σύστημα, μεγαλύτερες των 3 atm) ή ατμός. Οι αγωγοί, στο σύνολο τους σχεδόν, είναι χαλύβδινοι και περιβάλλονται από θερμομονωτικό υλικό για τον περιορισμό των θερμικών απωλειών. Σήμερα οι αγωγοί είναι πλέον υπόγειοι, προμονωμένοι και ο καταναλωτής τροφοδοτείται άμεσα ή με την παρεμβολή θερμικού εναλλάκτη. Για την κυκλοφορία του θερμού / υπέρθερμου νερού στα δίκτυα αυτά χρησιμοποιούνται αντλίες - κυκλοφορητές.

Οι εγκαταστάσεις τηλεθέρμανσης διακρίνονται ανάλογα:

1. Με τον φορέα σε

- εγκαταστάσεις θερμού νερού (έως 110°C)
- εγκαταστάσεις υπέρθερμου νερού (άνω των 110°C)
- εγκαταστάσεις ατμού

2. Με τον τρόπο παροχής σε

- απευθείας, όπου ο φορέας θερμότητας κυκλοφορεί και στο δίκτυο σωληνώσεων του καταναλωτή
- έμμεσες, όπου στον υποσταθμό του κτιρίου υπάρχει εναλλάκτης θερμότητας

3. Με το μέγεθος

4. Με το είδος των θερμαινόμενων κτηρίων σε

- θέρμανση οικοδομικών τετραγώνων, για την αυτόνομη θέρμανση ενός ή περισσότερων οικοδομικών τετραγώνων αλλά και σχολείων, νοσοκομείων, στρατοπέδων κ.λπ.. Συνήθως υπάρχει ξεχωριστό κτίριο για τις εγκαταστάσεις.

- θέρμανση εργοστασίων, όπου η εγκατάσταση παρέχει εκτός από τη θέρμανση και βιομηχανική θερμότητα
- θέρμανση πόλεων, για τη θέρμανση κατοικιών κλπ. αλλά και βιομηχανικών εγκαταστάσεων σε εμπορική βάση

Τα συστήματα τηλεθέρμανσης απαιτούν μεγάλες δαπάνες αρχικής εγκατάστασης. Τα οικονομικά κριτήρια μιας τέτοιας εγκατάστασης εξετάζονται παράλληλα με τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν για το περιβάλλον από την πιθανή αξιοποίηση:

- ποσοτήτων ενέργειας οι οποίες απορρίπτονται αναξιοποίητες στο περιβάλλον από μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύση (συμπαραγωγή)
- απόβλητης θερμότητας από βιομηχανίες
- διαθέσιμων φυσικών πηγών (γεωθερμικά πεδία)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΓΡΟ-ΒΙΟΜΑΖΑ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ

2.1. ΟΙ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Η μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, με καύση βιομάζας από αγροτικά υπολείμματα, θα εγκατασταθεί λίγα χιλιόμετρα έξω από την πόλη των Τρικάλων (περίπου 10Km). Ο νομός Τρικάλων καταλαμβάνει το βορειοδυτικό τμήμα της περιφέρειας Θεσσαλίας και η πόλη των Τρικάλων απέχει 26Km από την Καρδίτσα, 61Km από την Λάρισα και 119Km από τον Βόλο. Με βάση τις αποστάσεις αυτές, αλλά και τον χάρτη της εικόνας 2.1, συμπεραίνουμε ότι η μέγιστη απόσταση της μονάδας συμπαραγωγής από οποιοδήποτε σημείο του κάμπου της Θεσσαλίας είναι περίπου τα 100 χιλιόμετρα. Αυτό μας δίνει την δυνατότητα να επιλέξουμε ως περιοχή ενδιαφέροντος για συλλογή και εκμετάλλευση βιομάζας από αγροτικά υπολείμματα, ολόκληρη την περιφέρεια Θεσσαλίας.

Εικόνα 2.1: Η θέση της μονάδας ΣΗΘ στον κάμπο της Θεσσαλίας

Η περιφέρεια Θεσσαλίας έχει έκταση 14.037 Km² (50% ορεινή και 50% πεδινή) με πληθυσμό 730.730 κατοίκους και πυκνότητα 52,06 κάτοικοι ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο. Η καλλιεργήσιμη έκτασή της ανέρχεται σε 4.999.353 στρ. (2.408.271 στρ. στην Π.Ε. Λάρισας, 1.099.601 στην Π.Ε. Καρδίτσας, 884.112 στρ. στην Π.Ε. Μαγνησίας και 607.369 στρ. στην Π.Ε. Τρικάλων). Σε σύνολο είναι το 12,68% της καλλιεργήσιμης έκτασης της χώρας.

Γεωγραφική Ενότητα	Καλλιεργήσιμη Έκταση (στρ.)
Ελλάδα	39.427.074
Θεσσαλία	4.999.353
Π.Ε. Καρδίτσας	1.099.601
Π.Ε. Λάρισας	2.408.601
Π.Ε. Μαγνησίας	884.112
Π.Ε. Τρικάλων	607.369

Πίνακας 2.1: Καλλιεργήσιμες εκτάσεις ανά την ελληνική επικράτεια αλλά και ανά Περιφερειακή Ενότητα

Στον παρακάτω χάρτη παρουσιάζονται οι χρήσεις γης της Περιφέρειας Θεσσαλίας, όπου χαρακτηρίζεται κυρίως από δασικές και αγροτικές περιοχές.

Σχήμα 2.1: Χρήσεις γης της περιφέρειας Θεσσαλίας

Οι καλλιέργειες που κυριαρχούν στην περιφέρεια Θεσσαλίας είναι οι αροτραίες καλλιέργειες, οι οποίες και αποτελούν το 80% περίπου των καλλιεργούμενων εκτάσεων. Στον παρακάτω πίνακα και στην σχετική ράβδο, παρουσιάζεται η κατάταξη των κυριότερων καλλιεργειών φυτικής παραγωγής της περιφέρειας Θεσσαλίας ανά συνολικά καλλιεργήσιμη έκταση.

Σειρά Κατάταξης	Τομέας Φυτικής Παραγωγής	Καλλιεργήσιμη Έκταση (στρ.)	Καλλιεργήσιμη Έκταση/Σύνολο Αροτραίων Εκτάσεων (%)
1	Σκληρό σιτάρι	1.311.541	29,97
2	Βαμβάκι	1.227.461	28,05
3	Λοιπά σιτηρά	466.330	10,66
4	Αραβόσιτος	335.596	7,67
5	Ελιά	335.569	7,67
6	Ζωοτροφές	312.871	7,15
7	Δένδρα ξηρών καρπών	121.801	2,78
8	Κηπευτικά – Λαχανικά	76.933	1,76
9	Βιομηχανικά φυτά	57.998	1,33
10	Μηλοειδή	46.040	1,05
11	Αμπελώνες	37.687	0,86
12	Πυρηνόκαρπα	23.748	0,54
13	Οσπριοειδή	20.725	0,47
14	Αρωματικά φυτά	1.618	0,04
15	Ανθοκομικές καλλιέργειες	578	0,01
ΣΥΝΟΛΑ		4.376.496	100,00

Πίνακας 2.2: Οι κυριότερες καλλιέργειες φυτικής παραγωγής στη Θεσσαλία

2.2. ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ

Ο όρος «αγροτικά υπολείμματα» αναφέρεται στα μέρη μιας καλλιέργειας που δε συλλέγονται ως μέρος των συνηθισμένων αγροτικών πρακτικών αλλά αφήνονται στο χωράφι. Συνήθως, τα υπολείμματα αυτά δεν έχουν διατροφική αξία για τους ανθρώπους και η χρήση τους σε διεργασίες που παράγουν άλλα εμπορεύματα (π.χ. παραγωγή χαρτιού) ίσως είναι δυνατή αλλά παραμένει περιορισμένη. Αυτό μπορεί να δίνει την εντύπωση ότι τα υπολείμματα αυτά είναι εύκολα διαθέσιμα για εφαρμογές βιοενέργειας. Ωστόσο, πολλά από τα πιο σημαντικά υπολείμματα, βρίσκουν τελικές χρήσεις ως υλικά για την εκτροφή και τη στρωμνή ζώων ή την παραγωγή μανιταριών. Επίσης, η απομάκρυνσή τους από το έδαφος ίσως υπόκειται σε περιβαλλοντικούς περιορισμούς, όπως η διατήρηση των εδαφών.

Η ακριβής ποσότητα αγροτικών υπολειμμάτων που παράγεται σε κάθε περιοχή δεν καταγράφεται στις περισσότερες περιπτώσεις και τέτοια στοιχεία δεν είναι διαθέσιμα από καμία αρχή. Τα δεδομένα που καταγράφονται και είναι όντως διαθέσιμα αναφέρονται στις καλλιεργούμενες εκτάσεις και στην παραγωγή των κυρίων προϊόντων. Η μετατροπή από την παραγωγή κύριων προϊόντων σε υπολείμματα συνήθως πραγματοποιείται με τη χρήση του λόγου υπολείμματος προς κύριο προϊόν (ΛΥΠ). Ο λόγος αυτός, είναι προφανώς συγκεκριμένος για κάθε καλλιέργεια, αλλά εξαρτάται και από άλλες παραμέτρους, όπως τις κλιματικές και καιρικές συνθήκες, την ποιότητα του εδάφους και τις αγροτικές πρακτικές.

Η χρήση του λόγου υπολείμματος προς κύριο προϊόν δίνει, με μεταβαλλόμενο βαθμό ακρίβειας, τη συνολική παραγωγή των υπολειμμάτων σε μια δεδομένη περιοχή. Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι το σύνολο της ποσότητας μπορεί να απομακρυνθεί από το χωράφι, καθώς ενδέχεται να υπάρχουν αρκετοί άλλοι περιορισμοί. Οι περιορισμοί αυτοί συχνά υπάρχουν εξαιτίας των διαφόρων τεχνολογιών συλλογής, του τύπου του κάθε φυτού και του ύψους θερισμού του αλλά και λόγω περιβαλλοντικών περιορισμών. Η ποσότητα υπολείμματος, που μπορεί να μαζευτεί από το χωράφι, εκφράζεται με το ποσοστό απομάκρυνσης και είναι συγκεκριμένο για κάθε καλλιέργεια.

Οι καλλιέργειες, τα υπολείμματα των οποίων θα καταναλώνει η μονάδα συμπαραγωγής και θα υπολογίσουμε το δυναμικό τους, είναι το σκληρό σιτάρι, το βαμβάκι, τα λοιπά σιτηρά και ο αραβόσιτος. Τα χαρακτηριστικά των υπολειμμάτων των καλλιεργειών αυτών παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Καλλιέργεια	Είδος υπολείμματος	Περίοδος συλλογής	ΛΥΠ	Απομάκρυνση (%)	Υγρασία	ΑΘΔ, επί ξηρού	ΚΘΔ, ως έχει
					(% κ.β.)	(Mj/kg)	(Mj/kg)
Σκληρό σιτάρι	Άχυρο	Ιούνιος	1,30	40	15	17,90	13,74
Βαμβάκι	Στελέχη	Οκτώβριος	2,00	50	45	18,20	8,31
Λοιπά σιτηρά	Άχυρο	Ιούνιος	1,30	40	15	17,90	13,74
Αραβόσιτος	Στελέχη, κοτσάνια, φύλλα	Αύγουστος-Οκτώβριος	1,00	50	25	17,79	11,73

Πίνακας 2.3: Χαρακτηριστικά των βασικών αγροτικών υπολειμμάτων στη Θεσσαλία

Από τα στοιχεία του πίνακα 2.3 παρατηρούμε, ότι λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας σε υγρασία που έχει ως αποτέλεσμα την υψηλή κατώτερη θερμογόνο δύναμη, τα υπολείμματα με τη μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση είναι αυτά των σιτηρών. Το βαμβάκι για παράδειγμα, με περιεχόμενη υγρασία 45% κ.β. και κατώτερη θερμογόνο δύναμη 8,31 Mj/kg, έχει πολύ χαμηλότερη ενεργειακή απόδοση και για αυτό θα πρέπει να υποστεί μια αρχική ξήρανση πριν την ενεργειακή μετατροπή στην μονάδα συμπαραγωγής. Ο ευκολότερος και φθηνότερος τρόπος ξήρανσης είναι η ξήρανση στο χωράφι. Αυτό επιτυγχάνεται αφήνοντας τα υπολείμματα στο χωράφι για μερικές ημέρες και σε συνδυασμό με ευνοϊκές καιρικές συνθήκες η περιεχόμενη υγρασία μπορεί να μειωθεί έως το μισό της αρχικής. Αν οι καιρικές συνθήκες δεν επιτρέπουν την ξήρανση στο χωράφι, τότε θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν μέθοδοι βεβιασμένης ξήρανσης, με αποτέλεσμα επιπλέον λειτουργικά κόστη για τη μονάδα. Είναι προφανές, ότι τα υπολείμματα που θα προτιμηθούν για την ενεργειακή μετατροπή τους από την μονάδα συμπαραγωγής, είναι αυτά των σιτηρών. Παρόλα αυτά, η γνώση του δυναμικού και των ιδιοτήτων και των υπολοίπων βασικών αγροτικών υπολειμμάτων της Θεσσαλίας είναι ιδιαίτερα σημαντική, σε τυχόν περιόδους όπου το άχυρο σιτηρών δεν θα επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες σε καύσιμο της μονάδας.

Η σχέση που μας δίνει το διαθέσιμο δυναμικό των υπολειμμάτων της κάθε καλλιέργειας ξεχωριστά είναι η εξής:

(εξίσωση 2.1)

Όπου, : δυναμικό βιομάζας κάθε καλλιέργειας (tn)

: παραγωγή κύριου προϊόντος κάθε καλλιέργειας n (tn/στρ.)

: καλλιεργήσιμη έκταση για κάθε καλλιέργεια n (στρ.)

: ποσοστό απομάκρυνσης υπολείμματος καλλιέργειας n (%)

ΛΥΠ: λόγος υπολείμματος προς κύριο προϊόν καλλιέργειας n

Με βάση την εξίσωση 2.1 και τα στοιχεία από τους πίνακες 2.2 – 2.3, παίρνουμε τα αποτελέσματα για το δυναμικό της βιομάζας κάθε καλλιέργειας, τα οποία καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Καλλιέργεια	Καλλιεργούμενη έκταση (στρ.)	Παραγωγή κύριου προϊόντος (tn/στρ.)	Δυναμικό Βιομάζας (tn)	Παραγωγή Βιομάζας (tn/στρ.)
Σκληρό σιτάρι	1.311.541	0,34	231.880	0,17
Βαμβάκι	1.227.461	0,34	417.336	0,34
Λοιπά σιτηρά	466.330	0,20	48.498	0,10
Αραβόσιτος	335.596	1,1	184.557	0,54
Σύνολο	3.340.928		882.271	

Πίνακας 2.4: Δυναμικό βιομάζας των βασικών καλλιεργειών της Θεσσαλίας

Η μονάδα συμπαραγωγής ισχύος 4,99 MW, που βρίσκεται στην περιοχή των Τρικάλων, καταναλώνει 50.300 τόνους βιομάζας. Δηλαδή, το 5,7% της συνολικής βιομάζας από αγροτικά υπολείμματα στην περιφέρεια Θεσσαλίας. Ως αποτέλεσμα, δεν δημιουργείται πρόβλημα

ανταγωνιστικότητας ως προς τις άλλες χρήσεις της βιομάζας αγροτικών υπολειμμάτων, που κυρίως είναι η χρήση του άχυρου ως ζωτροφή σε κτηνοτροφικές μονάδες.

2.3 ΚΟΣΤΗ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Η εφοδιαστική αλυσίδα της μονάδας συμπαραγωγής με βιομάζα από αγροτικά υπολείμματα περιλαμβάνει τα παρακάτω επιμέρους στάδια:

- Συλλογή – Δεματοποίηση
- Φόρτωμα – Ξεφόρτωμα
- Μεταφορά

Για τη συλλογή και δεματοποίηση των αγροτικών υπολειμμάτων, που παραμένουν στο χωράφι μετά το θερισμό του κύριου προϊόντος, χρησιμοποιούνται μηχανές δεματοποίησης. Οι μηχανές αυτές συλλέγουν και μετατρέπουν τα υπολείμματα σε μεγάλες κυλινδρικές ή ορθογώνιες μπάλες, βάρους περίπου 500Kg. Στη συνέχεια, οι μπάλες φορτώνονται σε φορτηγό, για την μεταφορά τους στην μονάδα καύσης της βιομάζας.

Η εκτίμηση του κόστους μεταφοράς, θα γίνει για απόσταση 50 km, μεταξύ πηγής και μονάδας καύσης της βιομάζας (δηλαδή 100 km απόσταση που θα πρέπει να διανύσει το φορτηγό). Σημαντικό ποσοστό στην τελική κοστολόγηση της εφοδιαστικής αλυσίδας της μονάδας, καταλαμβάνει και η αμοιβή του εκάστοτε παραγωγού. Συνήθως ο παραγωγός πληρώνεται για το άχυρο περίπου το κόστος οργώματος. Για μια μονάδα όμως με μεγάλη ζήτηση σε αγροτικά υπολείμματα, καλύτερες τιμές μπορούν να εξασφαλισθούν, μέσω μακροπρόθεσμων συμβολαίων σταθερού όγκου και θερμογόνου ικανότητας με αξιόπιστους αντισυμβαλλόμενους.

2.3.1 Κόστος συγκομιδής άχυρου σιτηρών

Το άχυρο σιτηρών περιλαμβάνει όλα τα υπολείμματα που προέρχονται από τις καλλιέργειες του σκληρού και μαλακού σιταριού, του κριθαριού, της σίκαλης και της βρώμης. Αποτελεί τη κύρια πηγή βιομάζας από αγροτικά υπολείμματα στη περιφέρεια Θεσσαλίας, με συνολική παραγωγή 280.378 τόνους. Τα κόστη συγκομιδής του άχυρου σιτηρών καταγράφονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα.

Στοιχεία εφοδιαστικής αλυσίδας	€/μπάλα	€/tn	%
Κόστος δεματοποίησης	6,5	13	18
Κόστος φορτώματος-ξεφορτώματος	1,75	3,5	5
Μεταφορά	12,5	25	35
Αμοιβή παραγωγού	15	30	42
ΣΥΝΟΛΟ	35,75	71,50	

Πίνακας 2.5: Κόστος συγκομιδής άχυρου σιτηρών

Διαιρώντας το κόστος της συγκομιδής με τη κατώτερη θερμογόνο δύναμη του άχυρου σιτηρών, μπορούμε να υπολογίσουμε το κόστος σε ευρώ ανά μονάδα μέτρησης της ενέργειας (€/Gj).

2.3.2. Κόστος συγκομιδής στελεχών βάμβακος

Το βαμβάκι στη χώρα μας σπέρνεται την άνοιξη, συνήθως από τα μέσα Απριλίου ως τα μέσα Μαΐου, και συλλέγεται έως τα τέλη Νοεμβρίου. Η περιεχόμενη υγρασία των στελεχών την εποχή εκείνη κυμαίνεται στο 40% για το υπέργειο μέρος και στο 60% για το υπόγειο μέρος. Για την ασφαλή λοιπόν συλλογή και αποθήκευση των υπολειμμάτων βαμβακιού απαραίτητο είναι ένα χρονικό διάστημα παραμονής αυτών στο χωράφι, ώστε να επιτευχθεί η μείωση της περιεχόμενης υγρασίας στα επίπεδα του 20%. Το διάστημα αυτό ανέρχεται στις τρεις εβδομάδες.

Για την πλήρη συλλογή των υπολειμμάτων βαμβακιού, εκτός από την κοπή των επιφανειακών στελεχών (εργασία που πραγματοποιείται ούτως ή άλλως από τους αγρότες), χρειάζεται και επιπλέον εργασία για την εξαγωγή των ριζών των υπολειμμάτων. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τη μειωμένη περιεχόμενη υγρασία του υπέργειου τμήματος, μας οδηγεί στη συλλογή μόνο αυτού. Τα κόστη συγκομιδής και μεταφοράς των στελεχών βάμβακος φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Στοιχεία εφοδιαστικής αλυσίδας	€/μπάλα	€/tn	%
Κόστος δεματοποίησης	18	36	37,5
Κόστος φορτώματος-ξεφορτώματος	6	12	12,5
Μεταφορά	14	28	29,1
Αμοιβή παραγωγού	10	20	20,9
ΣΥΝΟΛΟ	48	96	

Πίνακας 2.6: Κόστος συγκομιδής στελεχών βάμβακος

2.3.3. Κόστος συγκομιδής στελεχών αραβοσίτου

Ο αραβόσιτος στη Θεσσαλία καλλιεργείται σε έκταση 335.596 στρεμμάτων, αποτελεί το 14,50% της καλλιέργειας αραβοσίτου της χώρας και η παραγωγή ανέρχεται σε 371.273 τόνους, με ποσοστό 20,25% περίπου της παραγωγής της χώρας. Η διαχρονική εξέλιξη της καλλιέργειας (1978-2010) παρουσιάζει αυξητική τάση η οποία συνοδεύεται και από αντίστοιχη αύξηση της παραγωγής.

Μετά τη συγκομιδή του καρπού παραμένουν στο χωράφι φύλλα, κοτσάνια, στελέχη κομμένα αλλά και στελέχη συνδεδεμένα με τη ρίζα. Αυτό απαιτεί τη χρήση χορτοκοπτικής μηχανής, ώστε να δεματοποιηθεί το σύνολο των υπολειμμάτων που παραμένουν στο χωράφι. Τα κόστη συλλογής και μεταφοράς φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Στοιχεία εφοδιαστικής αλυσίδας	€/μπάλα	€/tn	%
Κόστος δεματοποίησης	8	16	23,2
Κόστος φορτώματος-ξεφορτώματος	4	8	11,5
Μεταφορά	12,5	25	36,3
Αμοιβή παραγωγού	10	20	29
ΣΥΝΟΛΟ	34,50	69	

Πίνακας 2.7: Κόστος συγκομιδής στελεχών αραβοσίτου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΟΝΑΔΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΚΑΥΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

3.1.1. Η έννοια της συμπαραγωγής

Τα συστήματα Συνδυασμένης παραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ - γνωστή και ως Συμπαραγωγή) παράγουν ταυτόχρονα ηλεκτρική (ή/και μηχανική) και θερμική ενέργεια σε ένα ενιαίο, ολοκληρωμένο σύστημα. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με την κοινή πρακτική, όπου η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται σε ένα κεντρικό σταθμό, ενώ χρησιμοποιείται επιτόπιος εξοπλισμός θέρμανσης και ψύξης για την κάλυψη των αναγκών σε μη ηλεκτρική ενέργεια. Η θερμική ενέργεια που ανακτάται σε ένα σύστημα ΣΗΘ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση ή ψύξη στη βιομηχανία ή τα κτίρια. Επειδή η ΣΗΘ εκμεταλλεύεται τη θερμότητα που σε άλλη περίπτωση θα χανόταν κατά τη συμβατική διακριτή παραγωγή ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας, η συνολική απόδοση αυτών των ολοκληρωμένων συστημάτων είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή των μεμονωμένων συστημάτων.

Η ΣΗΘ δεν αποτελεί μια συγκεκριμένη τεχνολογία αλλά περισσότερο μια εφαρμογή τεχνολογιών για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης ή/και ψύξης, καθώς και για μηχανική ή/και ηλεκτρική ενέργεια των τελικών καταναλωτών. Λόγω των πρόσφατων τεχνολογικών εξελίξεων, έχουν αναπτυχθεί νέες διατάξεις των συστημάτων ΣΗΘ που τα καθιστούν οικονομικά συμφέροντα σε ένα ευρύτερο φάσμα εφαρμογών. Οι νέες γενιές των στροβίλων, κυψελών καυσίμου και παλινδρομικών μηχανών συνιστούν το αποτέλεσμα εντατικής και συνδυασμένης έρευνας, ανάπτυξης και επίδειξης, τόσο από ινστιτούτα όσο και από τη βιομηχανία. Τα προηγμένα υλικά και οι τεχνικές σχεδίασης μέσω Η/Υ έχουν αυξήσει σημαντικά την αποδοτικότητα και την αξιοπιστία του εξοπλισμού, μειώνοντας ταυτόχρονα τα κόστη και τις εκπομπές ρύπων.

Η συμβατική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι από τη φύση της μη αποδοτική, αφού μετατρέπεται μόνο το ένα τρίτο της ενέργειας των καυσίμων σε ωφέλιμη ενέργεια. Η σημαντική αύξηση της αποδοτικότητας με τη ΣΗΘ οδηγεί σε μικρότερη κατανάλωση καυσίμων και σε μειωμένες εκπομπές ρύπων σε σχέση με τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Η ΣΗΘ αποτελεί μια οικονομικά παραγωγική προσέγγιση για τη μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων μέσω της πρόληψης της ρύπανσης, ενώ ο παραδοσιακός έλεγχος της ρύπανσης που επιτυγχάνεται απλά μέσω της επεξεργασίας των καυσαερίων δεν παρέχει κανένα οικονομικό όφελος και, στην πραγματικότητα, μειώνει την απόδοση και την ωφέλιμη παραγωγή ενέργειας.

Δεδομένου ότι από ένα σύστημα ΣΗΘ προκύπτουν δύο ή περισσότερα χρησιμοποιήσιμα ενεργειακά προϊόντα, ο καθορισμός του συνολικού βαθμού απόδοσης των συστημάτων αυτών είναι πιο σύνθετος απ' ό,τι στα απλά συστήματα. Το όλο σύστημα μπορεί να αντιμετωπισθεί ως δύο υποσυστήματα, το σύστημα ηλεκτρικής ισχύος (συνήθως μια μηχανή ή ένας στρόβιλος) και το σύστημα ανάκτησης θερμότητας (συνήθως κάποιος τύπος λέβητα). Η απόδοση του συνολικού

συστήματος προκύπτει από την αλληλεπίδραση μεταξύ των μεμονωμένων βαθμών απόδοσης των συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής και ανάκτησης θερμότητας.

Τα αποδοτικότερα συστήματα ΣΗΘ (με πάνω από 80% συνολικό βαθμό απόδοσης) είναι εκείνα που ικανοποιούν μεγάλη θερμική ζήτηση με την ταυτόχρονη παραγωγή σχετικά μικρότερης ηλεκτρικής ισχύος. Όσο αυξάνεται η απαιτούμενη θερμοκρασία της ανακτώμενης ενέργειας, τόσο μειώνεται ο λόγος της παραγόμενης ισχύος προς τη θερμότητα. Η μειωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι σημαντική για τα οικονομικά της ΣΗΘ, καθώς η διάθεση της πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας στην αγορά είναι τεχνικά ευκολότερη απ' ό,τι είναι στην περίπτωση της πλεονάζουσας θερμικής ενέργειας.

Σχήμα 3.1: Συμβατικό Σύστημα Παραγωγής Ενέργειας

Σχήμα 3.2: Σύστημα Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας

3.1.2. Σύγχρονες τεχνικές συμπαγωγής

Τα περισσότερα συστήματα συμπαγωγής μπορούν να χαρακτηριστούν είτε ως συστήματα “κορυφής” (topping systems), είτε ως συστήματα “βάσεως” (bottoming systems).

Στα συστήματα κορυφής, ρευστό υψηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού, ενώ η αποβαλλόμενη θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται σε θερμικές διεργασίες, θέρμανση χώρων, ή ακόμη και για παραγωγή πρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας.

Στα συστήματα βάσεως, παράγεται πρωτίστως θερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας (όπως, π.χ., σε καμίνους χαλυβουργείων, υαλουργείων και εργοστασίων σκυροδέματος), κατόπιν τα θερμά αέρια διοχετεύονται συνήθως σε λέβητα ανάκτησης θερμότητας, όπου παράγεται ατμός ο οποίος θέτει σε λειτουργία έναν ατμοστρόβιλο και εν συνεχεία μία γεννήτρια. Είναι ακόμη δυνατόν τα θερμά αέρια να διοχετευθούν σε αεριοστρόβιλο, που δίνει κίνηση σε μία ηλεκτρογεννήτρια, χωρίς την παρεμβολή λέβητα. Το σχήμα 1.3 δίνει ενδεικτικές τιμές θερμοκρασιών για τις δύο κατηγορίες συστημάτων.

Σχήμα 3.3: Ενδεικτικές θερμοκρασιακές στάθμες συστημάτων συμπαγωγής

3.1.3. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΣΗΘ

Η συμπαραγωγή μπορεί να έχει τόσο θετικές όσο και αρνητικές συνέπειες σε θέματα οικονομικά, κοινωνικά, περιβαλλοντικά και σε θέματα εξοικονόμησης καυσίμου. Οι πιθανές αρνητικές επιπτώσεις όμως μπορούν να μετριασθούν με την καλύτερη δυνατή επιλογή της τεχνικής, του είδους και της θέσης του συστήματος συμπαραγωγής και ανάλογα με την κάθε περίπτωση. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα συνοψίζονται παρακάτω:

- Τα συστήματα συμπαραγωγής παρουσιάζουν σημαντικά μεγαλύτερους βαθμούς απόδοσης λόγω της αποδοτικότερης εκμετάλλευσης της ενέργειας.
- Η συμπαραγωγή συντελεί στην άμεση μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων (CO₂, CO, SO₂) καθώς για την ίδια παραγωγή ενέργειας η κατανάλωση του καυσίμου είναι πολύ μικρότερη από την περίπτωση της χωριστής παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας. Ανάλογα και με το είδος του καυσίμου (π.χ. ανανεώσιμο καύσιμο) οι εκπεμπόμενοι ρύποι μπορούν σχεδόν να εκμηδενιστούν.
- Τα συστήματα συμπαραγωγής προσφέρουν μεγαλύτερη ευελιξία, διότι έχουν μικρότερο μέγεθος και χρόνο κατασκευής και εξυπηρετούν καλύτερα τους τοπικούς καταναλωτές σε σύγκριση με τις μεγάλες κεντρικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής.
- Περιορίζονται σημαντικά οι απώλειες μεταφοράς της ενέργειας, διότι η θέση των μικρών μονάδων συμπαραγωγής είναι συνήθως πιο κοντά στους καταναλωτές σε σύγκριση με τις συμβατικές μεγάλες μονάδες.
- Το μικρό μέγεθος των μονάδων συμπαραγωγής αυξάνει την αξιοπιστία της παροχής της ενέργειας και προσαρμόζεται καλύτερα σε πιθανές μελλοντικές μεταβολές της ζήτησης.
- Οι μονάδες συμπαραγωγής έχουν συγκριτικά χαμηλότερο κόστος για κάθε τεχνολογία και συντελούν στη βελτίωση της ανταγωνιστικότητας της οικονομίας.
- Τα νέα συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμική ενέργεια για τη δημιουργία σύγχρονων εφαρμογών αξιοποίησης της, όπως είναι η τηλεθέρμανση των πόλεων και των οικισμών.
- Η χρήση μικρότερης ποσότητας καυσίμων των μονάδων συμπαραγωγής ωφελεί οικονομία καθώς μειώνεται η ανάγκη για εισαγόμενα καύσιμα.
- Οι νέες επενδύσεις σε μικρές μονάδες συμπαραγωγής συντελούν στην αύξηση της απασχόλησης του βιομηχανικού τομέα όχι μόνο στις μεγάλες 55 βιομηχανικές ζώνες, αλλά σε διάσπαρτες περιοχές και ενδυναμώνει το ρόλο της τοπικής αυτοδιοίκησης.

Πέρα όμως από τα σημαντικά οφέλη που προκύπτουν, εμφανίζονται και αρνητικές επιπτώσεις σε διάφορες εφαρμογές της συμπαραγωγής, όπως:

- Σε περιπτώσεις συμπαραγωγής με καύση συμβατικών καυσίμων, η εκπομπή ρυπογόνων ουσιών παραμένει σε αρκετά υψηλά επίπεδα.
- Εφόσον οι μονάδες συμπαραγωγής βρίσκονται πιο κοντά σε αστικά κέντρα, η πιθανή ρύπανση από εκπομπές ρύπων επιβαρύνουν περισσότερο το περιβάλλον σε σύγκριση με τους κεντρικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής που συνήθως βρίσκονται έξω από τα αστικά κέντρα.
- Η δημιουργία πολλών μικρών μονάδων συμπαραγωγής μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην ευστάθεια του δικτύου ηλεκτρισμού, εάν ο ρυθμός αύξησης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας γίνει μεγαλύτερος από το ρυθμό αύξησης της ζήτησης.
- Η δημιουργία των νέων μονάδων, ανάλογα με την τεχνολογία τους, μπορεί προκαλεί ρύπανση του εδάφους και των υδάτων από στερεά κατάλοιπα της καύσης, ηχητική ρύπανση από το θόρυβο των μονάδων ή ακόμα και αισθητική επιβάρυνση.

3.2. ΜΟΝΑΔΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ 4,99 MWeI

3.2.1. Σύνομη περιγραφή της μονάδας

Η μονάδα συμπαραγωγής λειτουργεί με καύση βιομάζας. Η μονάδα βασίζεται σε στροβιλογεννήτρια Οργανικού Κύκλου Rankine (ORC) με διαθερμικό λάδι, για ηλεκτροπαραγωγή. Η ονομαστική ισχύς της εγκατάστασης του σταθμού ανέρχεται στα 4,99 MWeI.

Ο σταθμός συνδέεται με το δίκτυο Μ.Τ. της ΔΕΗ, και αποτελείται από μια μονάδα συμπαραγωγής με βάση τον οργανικό κύκλο του Rankine της εταιρίας Turboden Srl (μέλος του Pratt & Whitney Power Systems). Η μονάδα είναι τύπου Turboden 55 HRS, με μέγιστη αποδιδόμενη ισχύ 4.999 kWel. Η συγκεκριμένη μονάδα είναι κατάλληλη για συμπαραγωγή με καύση βιομάζας και εφοδιασμένη με ασύγχρονη τριφασική γεννήτρια μέσης τάσης.

Για την τροφοδοσία της μονάδας με θερμότητα έχει εγκατασταθεί λέβητας καύσης βιομάζας με παλινδρομικά κινούμενη σχάρα. Ο λέβητας είναι ονομαστικής ισχύος 25.500 kWth και έχει βαθμό απόδοσης >85%.

Η παραγόμενη θερμότητα από την καύση βιομάζας στον λέβητα προσλαμβάνεται από διαθερμικό λάδι με θερμοκρασία εξόδου 315 °C. Το διαθερμικό λάδι σε κλειστό κύκλωμα τροφοδοτεί την γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, ονομαστικής ισχύος 5.000 kW.

Από τη διεργασία προκύπτει ως προϊόν το ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο μέσω κατάλληλης διάταξης ανύψωσης τάσης 6,3/20 kV πωλείται στο δίκτυο μέσης τάσης της ΔΕΗ, καθώς και θερμό νερό το οποίο χρησιμοποιείται στον συμπυκνωτή. Το θερμό νερό αντιστοιχεί στο 73% περίπου της εισερχόμενης θερμικής ισχύος από το διαθερμικό λάδι ενώ το ηλεκτρικό ρεύμα αντιστοιχεί στο 25% αντίστοιχα. Η θερμότητα του νερού που ψύχει τον συμπυκνωτή της μονάδας, χρησιμοποιείται για την θέρμανση παρακείμενης θερμοκηπιακής μονάδας.

Ο μηχανολογικός εξοπλισμός του σταθμού καταλαμβάνει έκταση περίπου 3 στρεμμάτων, ενώ υπάρχουν επιπλέον στεγασμένοι αποθηκευτικοί χώροι 3 στρεμμάτων. Η συνολική έκταση του σταθμού είναι περίπου 35 στρέμματα ώστε να καλύπτονται και οι ανάγκες υπαίθριας αποθήκευσης βιομάζας.

Η κατανάλωση βιομάζας εκτιμάται σε 50.000 τόνους ετησίως και αφορά αγροτικά υπολείμματα από την ευρύτερη περιοχή. Η μονάδα παράγει περί τους 1.500 τόνους τέφρας ετησίως που διατίθεται είτε σε ΧΥΤΑ ως υλικό επίχωσης, είτε ως λίπασμα, ενώ τα καυσαέρια καθαρίζονται με σύστημα σακόφιλτρων – ηλεκτροστατικών φίλτρων.

Σχήμα 3.4: Μονάδα συμπαραγωγής με διαθερμικό λάδι

3.2.2. Γενικά χαρακτηριστικά της μονάδας

Χαρακτηριστικά Μονάδας		
Παράμετρος	Ονομαστικές Συνθήκες	Μονάδες
Θερμοκρασία Εισόδου Ελαίου	315	°C
Θερμοκρασία Εξόδου Ελαίου	219	°C
Σύνολο Θερμότητας Διαθερμικού Ελαίου	21.700	kW
Βαθμός Απόδοσης Λέβητα	85%	
Θερμική Ισχύς Καυσίμου	25.529	kW
Θερμογόνος Δύναμη Βιομάζας	3.500	kcal/kg
Κατανάλωση Βιομάζας	6.288	Kg/hr
Θερμοκρασία Εξόδου Νερού	60	°C
Θερμοκρασία Εισόδου Νερού	50	°C
Παροχή Νερού	1.411	m ³ /hr
Θερμότητα Κυκλώματος Νερού προς Απόρριψη	16.366	kWth
Ηλεκτρική Απόδοση	23.0%	
Καθαρή Ηλεκτρική Ισχύς	4.999	kWel
Ετήσιος Χρόνος Λειτουργίας	8.000	hr
Ετήσια Κατανάλωση Βιομάζας	50.300	tn/έτος
Ετήσια Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας	39.990	MWh/έτος

Πίνακας 3.1: Γενικά χαρακτηριστικά της μονάδας συμπαραγωγής

3.2.3. Βασικές υπομονάδες

Η μονάδα συμπαραγωγής με καύση βιομάζας περιλαμβάνει τρεις βασικές υπομονάδες:

- την υπομονάδα καύσης της βιομάζας
- την υπομονάδα ηλεκτροπαραγωγής και
- την υπομονάδα διάθεσης της θερμότητας

3.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΥΠΟΜΟΝΑΔΩΝ

3.3.1. Υπομονάδα καύσης της βιομάζας

Η υπομονάδα καύσης της βιομάζας περιλαμβάνει όλες τις βοηθητικές εγκαταστάσεις που απαιτούνται για την αποθήκευση, τη τροφοδοσία και την καύση της βιομάζας στον λέβητα

Αποθήκευση της βιομάζας

Οι πρώτες ύλες πώδους βιομάζας έχουν συνήθως ένα μικρό χρονικό παράθυρο για το θερισμό τους, το οποίο σημαίνει ότι η βιομάζα είναι «διαθέσιμη» μια φορά το χρόνο. Επειδή η μονάδα θα πρέπει να λειτουργεί κατά τη διάρκεια όλου του χρόνου, η μακροχρόνια αποθήκευση – μέχρι και 12 μήνες – είναι ένα απαιτούμενο στις περισσότερες εφοδιαστικές αλυσίδες πώδους βιομάζας. Η αποθήκευση της πώδους βιομάζας για τόσο μεγάλες χρονικές περιόδους πρέπει να στοχεύει στην ελαχιστοποίηση των αλλοιώσεων της βιομάζας, που οδηγούν σε μείωση της ποιότητάς της. Αυτό σημαίνει την αποφυγή των απωλειών ξηρής μάζας ή/και αλλαγών της σύστασης που καταλήγουν σε χαμηλότερη θερμογόνο ικανότητα. Συνήθως απώλειες ξηρής μάζας της τάξης του 5% θεωρούνται λογικές προκειμένου να διατηρηθεί το κόστος της εφοδιαστικής αλυσίδας σε λογικά επίπεδα.

Μέθοδος αποθήκευσης	Εύρος απωλειών ξηρής μάζας (%)	
	Μέχρι 9 μήνες	12 – 18 μήνες
Σε κλειστό αχυρώνα	< 2	2 - 5
Υπό σκεπή	2 - 5	3 - 10
Καλυμμένες, σε δάπεδο ή υπερυψωμένες	2 - 4	5 - 10
Καλυμμένες, στο έδαφος	5 - 10	10 - 15
Ακάλυπτες, σε δάπεδο ή υπερυψωμένες	3 - 15	12 - 35
Ακάλυπτες, στο έδαφος	5 - 20	15 - 50

Πίνακας 3.2: Τυπικές τιμές απωλειών ξηρής μάζας για μεγάλες κυλινδρικές μπάλες ανάλογα με τον τύπο και το χρόνο αποθήκευσης (Πηγή: University of Wisconsin)

Στη παρούσα μονάδα η βιομάζα αποθηκεύεται σε δέματα ορθογωνικής ή κυλινδρικής μορφής, σε υπαίθριο χώρο με κατάλληλα διαμορφωμένο πάτωμα. Είναι κατασκευασμένος από τσιμέντο πάχους 20cm ώστε να αντέχει την κίνηση βαρέων μηχανημάτων φορτωμένων με μπάλες και κλίση της τάξης του 1,5 % για να μπορεί το νερό να απομακρύνεται εύκολα από τη σωρό. Επίσης υπάρχει κάλυψη με λινάτσες, ενισχυμένα πλαστικά υφάσματα διαφορετικών ποιοτήτων. Οι λινάτσες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για 2-5έτη, ανάλογα με την ποιότητά τους και τις καιρικές συνθήκες.

Εικόνα 3.1: Αποθήκευση μπαλών κάτω από λινάτσα

Επιπλέον υπάρχουν στεγασμένοι αποθηκευτικοί χώροι τριών στρεμμάτων για την αποθήκευση της βιομάζας με μεγάλο υγρασιακό περιεχόμενο κατά τους χειμερινούς μήνες. Οι χώροι αυτοί είναι κατασκευασμένοι από μεταλλικά υλικά. Έχουν την δυνατότητα φυσικού φωτισμού κατά τη διάρκεια της ημέρας καθώς και μεγάλες συρόμενες πόρτες τόσο για την διευκόλυνση κατά την φόρτωση-εκφόρτωση της βιομάζας, όσο και για τον αερισμό του χώρου όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο.

Εικόνα 3.2: Εσωτερικό μεταλλικού κτιρίου για αποθήκευση δεμάτων βιομάζας

Ο μέσος όρος των διαστάσεων του κάθε δέματος είναι: 0,5m x 0,8m x 2m και βάρους 500kg. Υποθέτουμε ότι τα δέματα ορθογώνιας βάσης 1m² (0,5m x 2m) στοιβάζονται σε 8 στρώματα δηλαδή σε συνολικό ύψος 6,4m. Με αυτόν τρόπο αποθήκευσης για κάθε τόνο απαιτούνται 0,25m² αποθηκευτικού χώρου. Επομένως, σε 3 στρέμματα αποθηκών μπορούμε να αποθηκεύσουμε περίπου 12.000 τόνους βιομάζας, που αντιστοιχούν περίπου σε 3 μήνες λειτουργίας της μονάδας.

$$\text{Ημερήσια Κατανάλωση Βιομάζας} = 50300 \text{ (tn)} / 365 \text{ (ημέρες)} = 138 \text{ (tn/ημέρα)}$$

$$\text{Κατανάλωση σε 3 μήνες} = 138 \text{ (tn/ημέρα)} \times 90 \text{ (ημέρες)} = 12420 \text{ tn}$$

Αυτό είναι πολύ σημαντικό για την ομαλή λειτουργία της μονάδας σε περιόδους με άσχημες καιρικές συνθήκες (συνεχόμενες βροχοπτώσεις ή ισχυρός παγετός), όπου η κατανάλωση της υπαίθριας αποθηκευμένης βιομάζας θα είναι δύσκολη.

Τροφοδοσία και Καύση της βιομάζας

Τα δέματα μεταφέρονται από τους αποθηκευτικούς χώρους και τοποθετούνται σε χώρο πλησίον του λέβητα, κάτω από εναέριο γερανό πλήρως αυτοποιημένο. Αισθητήρας

τοποθετημένος στον γερανό, διαβάζει τη θέση του δέματος και με σήμα από τον λέβητα το σηκώνει και θα το τοποθετεί πάνω στον ταινιομεταφορέα.

Εικόνα 3.3: Τοποθέτηση δεμάτων από αυτοποιημένο γερανό στον ταινιομεταφορέα

Από εκεί το δέμα μεταφέρεται πρώτα στον αποδεματοποιητή και στη συνέχεια στον τεμαχιστή, πριν καταλήξει στον θάλαμο καύσης του λέβητα μέσω ενός κοχλίου. Το σύστημα τροφοδοσίας προστατεύεται από τυχόν πρόωρη ανάφλεξη της βιομάζας, μέσω δύο θερμοστατικά ανεξάρτητων συστημάτων ψεκασμού νερού και μιας πυρίμαχης πόρτας.

Η καύση της βιομάζας πραγματοποιείται σε λέβητα με παλινδρομικά κινούμενη σχάρα. Ο λέβητας είναι ονομαστικής ισχύος 25.500 kWth και έχει βαθμό απόδοσης >85%. Η παραγόμενη θερμότητα από την καύση της βιομάζας στον λέβητα προσλαμβάνεται από διαθερμικό λάδι με θερμοκρασία εξόδου 315°C. Επίσης τα καυσαέρια από το θάλαμο καύσης ψύχονται σε εναλλάκτες καυσαερίων – ελαίου και καυσαερίων – αέρα ως τη θερμοκρασία των 180-200 °C.

Διαθερμικό λάδι ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας

Το διαθερμικό λάδι ως μέσο μεταφοράς θερμότητας, χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές, όπου λαμβάνουν χώρα διαδικασίες σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Το βέλτιστο εύρος των θερμοκρασιών λειτουργίας του διαθερμικού λαδιού, που κυμαίνεται μεταξύ των 150°C και 400°C, είναι πιο ασφαλές και αποδοτικό από αυτό του ατμού.

Αυτό συμβαίνει, διότι το νερό μετά τη θερμοκρασία των 100°C αρχίζει να βράζει, μετατρέπεται σε ατμό και με περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας, αυξάνεται κατά πολύ και η πίεσή του. Αποτέλεσμα αυτού, τα συστήματα ατμού υπόκεινται σε νομοθετικές και κανονιστικές απαιτήσεις, λόγω του εγγενούς κινδύνου από τις υψηλές πιέσεις λειτουργίας. Επίσης αυξάνεται το κόστος εγκατάστασης όπως και οι έλεγχοι ρουτίνας για την ομαλή λειτουργία της μονάδας.

Σε αντίθεση με το νερό, το διαθερμικό λάδι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διεργασίες με πολύ υψηλές θερμοκρασίες, που μπορεί να φτάσουν έως και τους 350°C (ακόμα κ τους 400°C, ανάλογα με το είδος και την επεξεργασία του λαδιού), χωρίς καμία αύξηση της πίεσής του.

Εκπομπές

Αέρια απόβλητα

Κατά την κανονική λειτουργία του σταθμού εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα καυσαέρια από την καύση της βιομάζας. Αέρια απόβλητα, σκόνες και καυσαέρια, παράγονται κατά τις εργασίες κατασκευής του Σταθμού και τις εργασίες αποκατάστασης του χώρου μετά το πέρας της λειτουργίας του.

Διοξείδιο του θείου: Η βιομάζα περιέχει πολύ μικρές ποσότητες θείου (S), επομένως κατά την καύση της παράγονται πολύ μικρές ποσότητες διοξειδίου του θείου (SO₂).

Οξειδία του αζώτου: Λόγω των σχετικά χαμηλών θερμοκρασιών της καύσης (<950°C) τα οξειδία του αζώτου (NO_x) παράγονται σε πολύ μικρές ποσότητες.

Κατά τη καύση της στερεάς βιομάζας, σχηματίζονται και συμπαρασύρονται μαζί με τα καυσαέρια, αιωρούμενα σωματίδια (ιπτάμενη τέφρα). Για τον καθαρισμό των καυσαερίων από τα αιωρούμενα σωματίδια υπάρχει αρχικά μία διάταξη πολυκυκλώνων και στη συνέχεια (σε σειρά) μία διάταξη σακόφιλτρων. Οι κυκλώνες συγκρατούν το μεγαλύτερο μέρος της ιπτάμενης τέφρας, ενώ τα μικρότερα κλάσματα (<100 μm) συγκρατούνται στο 2ο τμήμα καθαρισμού (τα σακόφιλτρα). Τα σακόφιλτρα είναι από NOMEX (aramid) με ειδική επιφανειακή κατεργασία ώστε να είναι υδρόφοβα και ελαιόφοβα. Αυτά είναι ανθεκτικά σε υψηλές θερμοκρασίες (μέγιστη θερμοκρασία 200 °C) και έχουν εκτιμώμενο χρόνο ζωής 8.000 ώρες λειτουργίας. Για τον έλεγχο της λειτουργίας των σακόφιλτρων υπάρχει διαφορικός αναλογικός αισθητήρας πίεσης, που θα μετρά την πτώση της πίεσης των καυσαερίων σε αυτά. Όταν η πίεση υπερβεί το επιτρεπτό όριο θα ξεκινά ο καθαρισμός των σακόφιλτρων με αντίστροφη ροή αέρα.

Ρύπος	Μέσες τιμές εκπομπών (σε mg/Nm ³)
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	600
Διοξείδιο του θείου (SO ₂)	150
Οξειδία του αζώτου (NO _x)	400
Αιωρούμενα σωματίδια	80

Πίνακας 3.3: Αναμενόμενες μέσες τιμές εκπομπών αερίων ρύπων

Παρακολούθηση των εκπομπών: Για τον έλεγχο και τη συνεχή βελτιστοποίηση της λειτουργίας της εγκατάστασης υπάρχουν όργανα καταγραφής των εκπεμπόμενων αερίων ρύπων. Οι ρύποι και οι παράμετροι που μετρούνται συνεχώς είναι το οξυγόνο (O₂), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα οξειδία του αζώτου (NO_x) και τα αιωρούμενα σωματίδια. Στην περίπτωση που τα αιωρούμενα σωματίδια υπερβαίνουν προκαθορισμένες τιμές το όργανο ενημερώνει το κέντρο ελέγχου ώστε να γίνουν οι απαραίτητες ενέργειες.

Ηχορύπανση

Κατά την κανονική λειτουργία του σταθμού παράγεται θόρυβος από το μηχανολογικό εξοπλισμό της μονάδας και τις γεννήτριες ηλεκτρικού ρεύματος.

Υγρά απόβλητα

Κατά την κανονική λειτουργία του σταθμού δε παράγονται υγρά απόβλητα, εκτός από τα έλαια των μετασχηματιστών (του μετασχηματιστή του Υποσταθμού ανύψωσης τάσης), εφόσον δε χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές ξηρού τύπου, και τα λύματα του προσωπικού.

Υγρά απόβλητα από την παραγωγική διαδικασία μπορούν να θεωρηθούν, εκτός από τα έλαια του μετασχηματιστή, το διαθερμικό λάδι και το οργανικό ρευστό, που θα προκύψουν στο τέλος της διάρκειας ζωής του εξοπλισμού, αφού αυτά τα ρευστά βρίσκονται σε κλειστά κυκλώματα και δε χρήζουν αντικατάστασης καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής. Μετά το πέρας της διάρκειας ζωής του εξοπλισμού της μονάδος, τα παραπάνω υγρά απόβλητα θα προωθηθούν σε κατάλληλα αδειοδοτημένες εταιρείες. Θα φυλάσσονται σε στεγανά δοχεία και στεγασμένο χώρο μέχρι την παράδοση τους σε αυτές.

Λύματα προσωπικού: Τα υγρά απόβλητα που προκύπτουν από τις ανάγκες υγιεινής του προσωπικού καθώς και τα νερά πλύσης του χώρου κατά τη λειτουργία του σταθμού συμπαραγωγής οδηγούνται σε σύστημα στεγανού βόθρου, το οποίο συντηρείται επαρκώς, είναι επισκέψιμο και εκκενώνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Στερεά απόβλητα

Κατά την κανονική λειτουργία του σταθμού τα στερεά απόβλητα που παράγονται είναι, τυχόν, απορριπτόμενος ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός που αντικαθίσταται μετά από βλάβη ή το πέρας του χρόνου ζωής του, η τέφρα από το θάλαμο καύσης, η ιπτάμενη τέφρα που συγκρατείται από τα σακόφιλτρα, τα σακόφιλτρα και τα αστικού τύπου απόβλητα από το προσωπικό.

Η τέφρα από το θάλαμο καύσης, καθώς και η ιπτάμενη τέφρα που συγκρατείται από τα σακόφιλτρα συλλέγεται σε αλυσομεταφορέα γεμάτο νερό για τη σβέση της και την αποφυγή της διασποράς της. Η τέφρα καταλήγει σε χώρο εκτός του λεβητοστασίου και μαζί με τα σακόφιλτρα θα προωθούνται σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής (Χ.Υ.ΤΑ.).

3.3.2. Υπομονάδα ηλεκτροπαραγωγής

Η μονάδα ηλεκτροπαραγωγής είναι της εταιρίας Turboden Srl (μέλος του Pratt & Whitney Power Systems) και θα εργάζεται με βάση τον οργανικό κύκλο του Rankine. Η μονάδα είναι τύπου Turboden 55 HRS, εφοδιασμένη με ασύγχρονη τριφασική γεννήτρια μέσης τάσης και μέγιστη αποδιδόμενη ισχύ 4.999 kWel. Το ηλεκτρικό ρεύμα που προκύπτει ως προϊόν πωλείται στο δίκτυο μέσης τάσης της ΔΕΗ μέσω κατάλληλης διάταξης ανύψωσης τάσης 6,3/20kV.

Σχήμα 3.7: Μονάδα ηλεκτροπαραγωγής της εταιρίας Turboden

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ

4.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Το θερμοκήπιο βρίσκεται δίπλα από την μονάδα συμπαραγωγής και καταλαμβάνει έκταση 100 στρεμμάτων. Σκοπός της μονάδας είναι η καλλιέργεια τομάτας με τη μέθοδο της υδροπονίας μέσα σε υαλόφρακτο θερμοκήπιο. Με τον όρο υδροπονία εννοούμε κάθε καλλιέργεια φυτών που γίνεται σε οποιοδήποτε υπόστρωμα, εκτός του εδάφους ή εδαφικών μιγμάτων.

Η μονάδα ΣΗΘ παράγει ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο θα πωλείται στο δίκτυο μέσης τάσης της ΔΕΗ καθώς και θερμό νερό το οποίο χρησιμοποιείται στον συμπυκνωτή (παρ. 3.2.). Τα χαρακτηριστικά του θερμού νερού φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (4.1). Σε περίπτωση που το θερμοκήπιο δεν χρειάζεται άμεσα τη θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται μια ειδική προμονωμένη δεξαμενή 2.000m³ (heat accumulator tank) στην οποία διοχετεύεται το νερό για να χρησιμοποιηθεί όταν είναι απαραίτητο.

Θερμοκρασία	60	°C
Παροχή	1.411	m ³ /hr
Θερμότητα Κυκλώματος Νερού προς Απόρριψη	16.366	kW

Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά θερμού νερού

Τέλος, για την σωστή λειτουργία της εγκατάστασης, στο εσωτερικό του θερμοκηπίου υπάρχουν ειδικοί αισθητήρες ελέγχου της θερμοκρασίας. Εάν η θερμοκρασία που μετρείται είναι μεγαλύτερη από την επιθυμητή κλείνουν τα προστατευτικά από τον ήλιο πετάσματα που διαθέτει το θερμοκήπιο, ώστε να πέσει η θερμοκρασία. Αντίθετα, εάν η θερμοκρασία που μετρούν οι αισθητήρες είναι μικρότερη από την επιθυμητή, τότε τίθεται σε λειτουργία το σύστημα της ΣΗΘ.

Εικόνα 4.1: Εξωτερική άποψη του υαλόφρακτου θερμοκηπίου

4.2. ΠΡΟΣΑΓΩΓΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ

Η προσαγωγή της θερμότητας στο θερμοκήπιο οφείλεται σε πολλούς παράγοντες. Αναλυτικά αυτοί είναι οι εξής:

- 1) Η ηλιακή ακτινοβολία, η οποία χωρίζεται στην άμεση και διάχυτη. Αποτελεί την κύρια πηγή θερμότητας του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η θερμότητα αυτή δίνεται από τον τύπο:

$$(4.1)$$

Όπου, S : η επιφάνεια του θερμοκηπίου σε m^2

T : το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που διαπερνά τη διαφανή κάλυψη του θερμοκηπίου

I : η ένταση της ακτινοβολίας σε kWh/m^2

Από το συνολικό διαθέσιμο ηλιακό φως δεν περνάει τελικά όλο στο εσωτερικό του θερμοκηπίου όπως επίσης και δεν απορροφάται το 100% από τα φυτά. Μόνο ένα ποσοστό της τάξης του 30% τελικά είναι αυτό που θερμαίνει ουσιαστικά το θερμοκήπιο, καθώς σύμφωνα με τον S. Warren Wilson, 1979, η ηλιακή ενέργεια ακολουθεί μια πορεία μέσα στο θερμοκήπιο που φαίνεται στο σχήμα 5.1.

- 2) Η θερμότητα q_2 η οποία προέρχεται από το εσωτερικό της γης. Θεωρείται όμως αμελητέα, γιατί αντιπροσωπεύει το 0,02% των απαιτήσεων του θερμοκηπίου σε θέρμανση.
- 3) Η θερμότητα q_3 που οφείλεται στην αναπνοή των φυτών. Και αυτή αμελείται στους υπολογισμούς καθώς αντιπροσωπεύει το 0,3 – 0,4% της θερμότητας, που προστίθεται στο θερμοκήπιο λόγω ηλιακής ακτινοβολίας.
- 4) Η θερμότητα q_4 που οφείλεται στα θερμομαντικά μέσα όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από την επιθυμητή (σύστημα θέρμανσης).

Σχήμα 4.1: Πορεία και κατάληξη της ηλιακής ενέργειας στο θερμοκήπιο.

Έτσι, ουσιαστικά το συνολικό έργο της ηλιακής ακτινοβολίας θα δίνεται από τον τύπο:

$$(4.2)$$

Όπου (4.1)

Το θερμοκήπιο αποτελείται από 125 αμφίκριτες μονάδες όπως αυτή της διπλανής εικόνας. Η κάθε μονάδα έχει μήκος $x=4\text{m}$, πλάτος $y=200\text{m}$, το ύψος του ορθογωνίου είναι $z_1=5\text{m}$ και της πυραμίδας 1m . Συνολικά το θερμοκήπιο έχει μήκος 500m , πλάτος 200m και μέγιστο ύψος $z=6\text{m}$.

Από τα δεδομένα του θερμοκηπίου προκύπτει:

Εμβαδόν ορθογωνίου:

Εμβαδόν πυραμίδων:

Ολικό εμβαδόν:

Το υλικό κατασκευής του θερμοκηπίου είναι γυαλί πάχους 4mm με συντελεστή θερμοαγωγιμότητας $5,9\text{W/m}^2\text{K}$ και επιτρέπει ποσοστό 89% ηλιακής ακτινοβολίας να διέλθει από αυτό. Για να υπολογιστεί το κέρδος από την ηλιακή ακτινοβολία είναι απαραίτητη η γνώση

της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας (I) της περιοχής.

Τελικά στους τύπους 5.1 και 5.2 αντικαθίστανται οι παρακάτω τιμές:

$$a = 119303,39\text{m}^2$$

$$T = 0,89$$

I = η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας κάθε μέρας σε kWh/m^2 .

4.3. ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ

Όταν ο εξωτερικός αέρας έχει χαμηλότερη θερμοκρασία από τον αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου τότε προκαλούνται απώλειες θερμότητας. Αυτές διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

(W)

= ειδική θερμότητα αέρα, $J Kg^{-1}K^{-1}$

= πυκνότητα αέρα, $Kg m^{-3}$

= αριθμός εναλλαγών του αέρα από διαφυγές ανά ώρα, h^{-1}

= όγκος θερμοκηπίου, m^3

= διαφορά θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου και του εισερχόμενου αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον, K

(ως εσωτερική θερμοκρασία λαμβάνεται η επιθυμητή νυχτερινή θερμοκρασία για την καλλιέργεια και ως εξωτερική η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος).

1) Απώλειες θερμότητας λόγω της μετακίνησης αέρα από και προς το θερμοκήπιο.

Η μετακίνηση αυτή οφείλεται τόσο στις τυχόν ατέλειες του θερμοκηπίου, όσο και στον απαιτούμενο εξαερισμό μέσω των παραθύρων. Η εναλλαγή αυτή του αέρα προκαλεί σοβαρές απώλειες θερμότητας. Η θερμότητα Q_1 που χάνεται με την εναλλαγή του αέρα δίνεται από τον τύπο:

Όπου () η διαφορά θερμοκρασίας εισερχόμενου και εξερχόμενου αέρα.

Βάζοντας τις συνήθεις τιμές των $C_p=1,005 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$ και $P=1,3\text{kg/m}^3$, τότε η θερμότητα Q_1 εκφράζεται τελικά από τον τύπο:

(kJ/h)

Και επειδή : (4.4)

(kWh/μήνα) (4.5)

Ο αριθμός n , εναλλαγών αέρα ανά ώρα παίρνει τις ακόλουθες τιμές:

$n=0,8-1$ για νέα κατασκευή-γυαλί

$n=0,8-2,5$ για νέα κατασκευή-απλό πλαστικό

$n=0,6-1,2$ για νέα κατασκευή-διπλό πλαστικό

$n=1,5$ για παλιά κατασκευή-γυαλί (καλή συντήρηση)

$n=2,5$ για παλιά κατασκευή-γυαλί (κακή συντήρηση)

$n=50$ για ανοικτό θερμοκήπιο

Για την συγκεκριμένη εγκατάσταση του θερμοκηπίου ισχύει:

Άρα ο συνολικός όγκος του είναι:

Ο αριθμός εναλλαγών αέρα ανά ώρα, n , ισούται με 1 καθώς πρόκειται για καινούρια εγκατάσταση με γυαλί.

2) Απώλειες θερμότητας λόγω αγωγιμότητας από τα διαφανή μέρη του θερμοκηπίου.

Για να πραγματοποιηθεί η φωτοσύνθεση των φυτών είναι απαραίτητο να υπάρχει φως. Για αυτό τα υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων είναι διαφανή, ώστε να μπορεί να περάσει μέσα από αυτά η ηλιακή ακτινοβολία. Όμως τα υλικά κάλυψης έχουν μικρό πάχος και συνεπώς μικρή θερμική μόνωση με αποτέλεσμα, όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλή, η ροή θερμότητας προς τα έξω να είναι μεγάλη. Οι απώλειες αυτές γίνονται κυρίως με αγωγιμότητα από τα διαφανή μέρη και δίνονται από τον τύπο του Gray:

(kj/h)

Λόγω της (5.4) :

(kWh/μήνα) (4.6)

Όπου,

Κυλ.καλ.: ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υλικού κάλυψης σε $\text{kJ}^{**\circ}$

Συλ.καλ.: η επιφάνεια του υλικού κάλυψης του θερμοκηπίου σε m^2

Δt : η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα μέσα και έξω από το θερμοκήπιο σε $^{\circ}\text{C}$

Αν μερικά τμήματα του καλλύματος έχουν διαφορετικό συντελεστή αγωγιμότητας ή αν τα διαφανή μέρη αποτελούνται από διαφορετικά υλικά, τότε οι απώλειες θερμότητας δίνονται από το άθροισμα:

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας K των συνηθισμένων υλικών κάλυψης παίρνει τις εξής τιμές (kcal**°):

Γυαλί πάχους 3mm K=5,1

Γυαλί πάχους 6mm K=4,9

Πολυαιθυλένιο πάχους 8/100 mm K=5,7

Πολυαιθυλένιο πάχους 8/100 mm διπλό K=2-3

Πολυαιθυλένιο πάχους 12/100 mm K=5,4

Πολυαιθυλένιο πάχους 1,5 mm K=4,8

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υλικού κατασκευής του θερμοκηπίου είναι $K_{υλ.καλ.}=5,07 \text{ kcal/m}^2\cdot\text{h}^{\circ}\text{C}$, δηλαδή $K_{υλ.καλ.}=21,22\text{kJ/m}^2\cdot\text{h}^{\circ}\text{C}$, αφού $1\text{kcal}=4,187\text{kJ}$

3) Απώλειες θερμότητας με αγωγιμότητα από το έδαφος

Στο χώρο του θερμοκηπίου παρατηρείται ροή ενέργειας προς το έδαφος, η οποία στο κεντρικό τμήμα του οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας εδάφους-αέρα του εσωτερικού του θερμοκηπίου, ενώ περιμετρικά οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους μέσα και έξω από το θερμοκήπιο. Ο τύπος που δίνει τις απώλειες αυτές είναι ο ακόλουθος:

(kj/h)

Λόγω της (4.4) :

(kWh/μήνα)

(4.7)

Όπου:

: Ο συντελεστής θερμοπερατότητας του εδάφους ο οποίος για ένα μέσο γεωργικό έδαφος ισούται με $1,6 \text{ kcal}^{\circ}$, δηλαδή με $6,69 \text{ kJ}^{\circ}$, (αφού $1\text{kcal}=4,187\text{kJ}$)

: Η επιφάνεια του εδάφους του θερμοκηπίου σε m^2
(εδώ: $200\cdot 500=100.000\text{m}^2$).

Δt : Η διαφορά θερμοκρασίας αέρα-εδάφους στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε βαθμούς Κελσίου.

Στα μεγάλα συγκροτήματα, όπως και στην συγκεκριμένη εγκατάσταση, θεωρείται ότι οι απώλειες είναι ομοιόμορφες σε όλη την επιφάνεια του εδάφους. Η θερμοκρασία όμως του εδάφους και η ροή θερμότητας προς αυτό είναι πολύ δύσκολο να προσδιοριστούν και για αυτό στην πράξη σαν Δt στον παραπάνω τύπο λαμβάνεται η διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού-εξωτερικού αέρα.

4) Απώλειες θερμότητας λόγω ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος των φυτών και του εδάφους.

Κάθε σώμα στη γη εκπέμπει θερμική ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος (3,5-100m). Τέτοιου είδους ακτινοβολία εκπέμπεται και από τα καλλιεργούμενα φυτά και το έδαφος ενός θερμοκηπίου, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται απώλειες θερμότητας. Αυτές δίνονται από τον εξής τύπο:

(4.8)

Όπου:

σ : η σταθερά Stefan-Boltzmann σε kWh^* .

P : το ποσοστό περατότητας του καλλύματος στην ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος, που εκπέμπουν τα φυτά και το έδαφος.

F : το ποσοστό της επιφάνειας του καλλύματος που δεν καλύπτεται από συμπυκνωμένους υδρατμούς.

A : η επιφάνεια του εδάφους του θερμοκηπίου σε m^2 .

ϵ : η εκπεμπτικότητα του εδάφους και των φυτών του θερμοκηπίου.

ϵ_a : η εκπεμπτικότητα της ατμόσφαιρας.

T_i : η απόλυτη θερμοκρασία στο χώρο του θερμοκηπίου σε K .

T_e : η θερμοκρασία του ουρανού σε K .

Η εκπεμπτικότητα των φυτών και του εδάφους παίρνει συνήθως την τιμή 0,9. Η εκπεμπτικότητα του ουρανού λαμβάνεται 0,73-0,8 για καθαρές νύχτες και 1 για πλήρη συννεφιά. Το ποσοστό περατότητας P της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος από το κάλυμα του θερμοκηπίου, διαφέρει για τα διάφορα υλικά κάλυψης.

Στην πράξη θεωρείται ότι οι απώλειες θερμότητας λόγω ακτινοβολίας των φυτών και του εδάφους αντιπροσωπεύουν, για τις ελληνικές συνθήκες, το 25% του αθροίσματος των άλλων απωλειών του θερμοκηπίου και δίνονται από τον τύπο:

(4.9)

5) Απώλειες θερμότητας λόγω διαπνοής των φυτών και της εξάτμισης του νερού από το έδαφος.

Οι απώλειες αυτές είναι μεγάλες, κυρίως τις ημέρες με ισχυρή ηλιοφάνεια ενώ τη νύχτα είναι σχεδόν ανύπαρκτες. Έχει υπολογιστεί, ότι από την ακτινοβολία που εισέρχεται τελικά στο

θερμοκήπιο, ένα ποσοστό της τάξης του 70% καταναλώνεται για εξατμισοδιαπνοή και απλή εξάτμιση

6) Απώλειες θερμότητας λόγω φωτοσύνθεσης των φυτών.

Οι απώλειες αυτές είναι πολύ μικρές συγκριτικά με τις άλλες απώλειες του θερμοκηπίου και για το λόγο αυτό συνήθως παραλείπονται στους υπολογισμούς, καθώς έχει βρεθεί ότι από την εισερχόμενη στο θερμοκήπιο ακτινοβολία ένα ποσοστό της τάξης του 1% χρησιμοποιείται για τη φωτοσύνθεση των φυτών.

7) Απώλειες θερμότητας λόγω συμπύκνωσης των υδρατμών στο κάλυμμα του θερμοκηπίου.

Οι απώλειες αυτές είναι πολύ μικρές και θεωρούνται αμελητέες.

Συνοψίζοντας, οι συνολικές απώλειες της εγκατάστασης του θερμοκηπίου θα είναι ίσες με το άθροισμα των επιμέρους απωλειών που περιγράφηκαν παραπάνω.

Δηλαδή:

kWh/μήνα

Οπότε οι συνολικές θερμικές ανάγκες του θερμοκηπίου θα είναι ίσες με τη διαφορά των ηλιακών θερμικών κερδών μείον τις θερμικές απώλειες.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα απαραίτητα για τους υπολογισμούς κλιματολογικά στοιχεία της περιοχής. Τα στοιχεία αυτά καταγράφησαν από τον μετεωρολογικό σταθμό της Λάρισας και αποτελούν τις μέσες τιμές για τη μηνιαία θερμοκρασία και μηνιαία ολική ακτινοβολία για τη περίοδο 1955-2007.

Μήνας	Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία (°C)	Μέση Μηνιαία Ολική Ακτινοβολία (kWh/m ² *μήνα)
Ιανουάριος	5,2	55,1
Φεβρουάριος	6,8	71,4
Μάρτιος	9,4	112,1
Απρίλιος	13,8	151,1
Μάϊος	19,7	190,9
Ιούνιος	25	210,8

Ιούλιος	27,2	215,8
Άυγουστος	26,2	194,3
Σεπτέμβριος	21,8	145,9
Οκτώβριος	16,2	97,8
Νοέμβριος	10,8	61,2
Δεκέμβριος	6,6	47,8

Πίνακας 4.2: Μέση μηνιαία θερμοκρασία και μέση μηνιαία ολική ακτινοβολία

Στους παρακάτω πίνακες συγκεντρώνονται οι υπολογισμοί που έγιναν για τον προσδιορισμό των μηνιαίων απωλειών θερμότητας του θερμοκηπίου (Οκτώβριος-Απρίλιος). Πιο αναλυτικά στον πίνακα 4.3 υπολογίζονται τα μηνιαία κέρδη της ηλιακής ακτινοβολίας. Ως Δt λαμβάνεται η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού αέρα, παίρνοντας ως μέση τιμή της εσωτερικής θερμοκρασίας τους 20°C. Στη συνέχεια, στον πίνακα 4.4 υπολογίζονται οι μηνιαίες απώλειες θερμότητας για κάθε μορφή απωλειών ξεχωριστά. Τέλος στον πίνακα 4.5 καταγράφονται οι ενεργειακές ανάγκες του θερμοκηπίου για κάθε μήνα ξεχωριστά.

Μήνας	Ηλιακή Ακτινοβολία (kWh/m ² *μήνα)	Κέρδη Ηλιακής Ακτινοβολίας (kWh/μήνα)
Οκτώβριος	97,8	3.115.321
Νοέμβριος	61,2	1.949.464
Δεκέμβριος	47,8	1.522.621
Ιανουάριος	55,1	1.755.155
Φεβρουάριος	71,4	2.274.375
Μάρτιος	112,1	3.570.833
Απρίλιος	151,1	4.813.139

Πίνακας 4.3: Μηνιαία κέρδη ηλιακής ακτινοβολίας

Μήνας	ΔΤ	Q ₁ (kWh/μήνα)	Q ₂ (kWh/μήνα)	Q ₃ (kWh/μήνα)	Q ₄ (kWh/μήνα)
Οκτώβριος	3,8	529.567	1.924.027	508.440	740.508
Νοέμβριος	9,2	1.282.109	4.658.171	1.230.960	1.792.810
Δεκέμβριος	13,4	1.867.421	6.784.728	1.729.920	2.595.517
Ιανουάριος	14,8	2.062.524	7.493.580	1.980.240	2.884.086
Φεβρουάριος	13,2	1.839.549	6.683.463	1.766.160	2.572.293
Μάρτιος	10,6	1.479.115	5.367.023	1.418.280	2.066.104
Απρίλιος	6,2	864.030	3.139.202	829.560	1.208.198

Πίνακας 4.4: Μηνιαίες απώλειες ενέργειας του θερμοκηπίου

Μήνας	Άθροισμα Απωλειών (Q ₁ +Q ₂ +Q ₃ +Q ₄) (kWh/μήνα)	Κέρδη Ηλιακής Ακτινοβολίας (kWh/μήνα)	Απαιτούμενη Θερμότητα
			(kWh/μήνα)
Οκτώβριος	3.702.542	3.115.321	587.221
Νοέμβριος	8.964.050	1.949.464	7.014.586
Δεκέμβριος	12.977.586	1.522.621	11.454.965
Ιανουάριος	14.420.430	1.755.155	12.665.275
Φεβρουάριος	12.861.465	2.274.375	10.587.090

Μάρτιος	10.330.522	3.570.833	6.759.689
Απρίλιος	6.040.990	4.813.139	1.227.851

Πίνακας 4.5: Μηνιαίες τιμές της απαιτούμενης για το θερμοκήπιο θερμότητας.

Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα

- Η καύση της βιομάζας έχει μηδενικό ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), δεν συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου καθώς οι ποσότητες του διοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώνονται κατά την καύση της βιομάζας δεσμεύονται πάλι από τα φυτά για τη εκ νέου δημιουργία της.
- Η μονάδα συμπαραγωγής ισχύος 4,99 MW, που έχει εγκατασταθεί στην περιοχή των Τρικάλων, θα καταναλώνει 50.300 τόνους βιομάζας. Δηλαδή, σύμφωνα με τους υπολογισμούς που έγιναν στο κεφάλαιο 2 και παρουσιάζονται στον πίνακα 2.4, η ποσότητα αυτή αποτελεί το 5,7% της συνολικής βιομάζας από αγροτικά υπολείμματα στην περιφέρεια Θεσσαλίας. Ως αποτέλεσμα, δεν θα δημιουργηθεί πρόβλημα ανταγωνιστικότητας ως προς τις άλλες χρήσεις της βιομάζας αγροτικών υπολειμμάτων, που κυρίως είναι η χρήση του άχυρου ως ζωοτροφή σε κτηνοτροφικές μονάδες.
- Η παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας από την καύση της βιομάζας σε σύστημα ORC αποτελεί μια σημαντική εναλλακτική στα συμβατικά συστήματα καύσης της βιομάζας, με σημαντικά πλεονεκτήματα μεταξύ των οποίων είναι η μεγάλη διάρκεια ζωής της μηχανής, τα χαμηλότερα κόστη συντήρησής της και η δυνατότητα πλήρους αυτοματοποιημένης λειτουργίας.
- Το διαθερμικό λάδι ως μέσο μεταφοράς θερμότητας είναι πιο ασφαλές και αποδοτικό από τον ατμό. Αυτό συμβαίνει γιατί μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διεργασίες με πολύ υψηλές θερμοκρασίες, που μπορεί να φτάσουν έως και τους 350°C (ακόμα κ τους 400°C, ανάλογα με το είδος και την επεξεργασία του λαδιού), χωρίς καμία αύξηση της πίεσής του. Το νερό μετά τη θερμοκρασία των 100°C αρχίζει να βράζει, μετατρέπεται σε ατμό και με περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας, αυξάνεται κατά πολύ η πίεσή του. Αποτέλεσμα αυτού, τα συστήματα ατμού υπόκεινται σε νομοθετικές και κανονιστικές απαιτήσεις, λόγω του εγγενούς κινδύνου από τις υψηλές πιέσεις λειτουργίας. Επίσης αυξάνεται το κόστος εγκατάστασης όπως και οι έλεγχοι ρουτίνας για την ομαλή λειτουργία της μονάδας.
- Με βάση τους υπολογισμούς που έγιναν στο τέταρτο κεφάλαιο και τα χαρακτηριστικά του θερμού νερού που φαίνονται στον πίνακα 4.1, συμπεραίνουμε ότι για τους μήνες Οκτώβριος/Νοέμβριος/Δεκέμβριος/Φεβρουάριος/Μάρτιος/Απρίλιος η θερμότητα του κυκλώματος νερού προς απόρριψη επαρκεί για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της θερμοκηπιακής μονάδας. Για τον μήνα Ιανουάριο θα πρέπει να γίνει σωστή χρήση της προμονωμένης δεξαμενής. Στην προμονωμένη δεξαμενή, θα αποθηκεύεται μέρος του θερμού νερού, τις ώρες που η εξωτερική θερμοκρασία είναι σε σχετικά υψηλά επίπεδα

και οι απώλειες ενέργειας του θερμοκηπίου είναι μειωμένες. Όταν οι απώλειες υπερβούν το όριο των 16.366 KW (θερμότητα κυκλώματος νερού προς απόρριψη), η προμονωμένη δεξαμενή ενεργοποιείται και διοχετεύει το αποθηκευμένο θερμό νερό για την κάλυψη των θερμικών αναγκών του θερμοκηπίου.

Βιβλιογραφία

- Anders Evans, (2009), «Case study: Straw fired district heating in Thorsager, Denmark», Force Technology, Kongens Lyngby, Denmark.
- Αποστολίδου Ιωάννα, (2010), «Αξιολόγηση καινοτόμου θερμοκηπιακής εκμετάλλευσης σε συνθήκες προσομοίωσης», Μεταπτυχιακή διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
- Βαρέλης Γ. Αλέξανδρος, (2009), «Παραμετρική διερεύνηση για την εκτίμηση της επίδρασης της θερμοκρασίας καυσαερίου κινητήρων Diesel βαρέως τύπου σε σύστημα ανάκτησης θερμότητας μέσου κύκλου Rankine», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Γέτμος Θ. Α., Φουντάς Σπ., Ταγαράκης Αρ., (2006), «Μελέτη αξιοποίησης παραγόμενης βιομάζας στον νομό Λάρισας με καύση για συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας», Εργαστηριακή μελέτη, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Ν. Ιωνία.
- Γεωργιάδης Αντώνιος και Σωτηρίου Σωτήριος, (2011), «Αξιοποίηση της βιομάζας στον Ελλαδικό χώρο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω συστημάτων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Καλτσά Δ. Ελένη, (2010), «Οικονομική ανάλυση μονάδας συμπαραγωγής της εταιρίας Agritex», Διπλωματική εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
- Καυγά Αγγελική, (2005), «Μελέτη αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας για τον έλεγχο του φωτισμού και της θερμοκρασίας του θερμοκηπίου», Μεταπτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.
- Λάσπα Βασιλική, (2010), «Κόστος παραγωγής και εμπορίας προϊόντων θερμοκηπίου νομού Τρικάλων», Πτυχιακή εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.
- Λεονταρίτης Άρης-Δημήτριος, (2010), «Επίδραση υπερκρίσιμων παραμέτρων οργανικού ρευστού στο σχεδιασμό εναλλακτών θερμότητας για κύκλους ORC», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Λυκοσκούφης Ηλ. Ιωάννης, (2011), «Ανάπτυξη συστήματος μείωσης της σχετικής υγρασίας στο θερμοκήπιο με τη χρήση αντλίας θερμότητας και υγροσκοπικών υλικών», Διδακτορική διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
- Μανέλης Γεώργιος, (2012), «Τεχνοοικονομική μελέτη ενεργειακών καλλιεργειών για την παραγωγή και εκμετάλλευση βιομάζας», Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

- Μαυρογιαννόπουλος, Γ. (2001), «Θερμοκήπια», Δ' Έκδοση, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.
- Μαχαίρα Σουλτάνα-Μάρθα και Σιμούλη Ασπασία, (2009), «Θέρμανση Θερμοκηπίου με χρήση γεωθερμίας», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
- Μπουσδέκης Αλέξανδρος, (2012), «Αξιοποίηση βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε Ελληνικά νησιά», Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Μπουτέτσιου Ελένη, (2010), «Ενεργειακή αξιοποίηση δασικής βιομάζας: Η περίπτωση του Μετσόβου», Μεταπτυχιακή εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Μέτσοβο.
- Ντογκούλης Α. Παναγιώτης, (2008), «Αξιοποίηση των υπολειμμάτων βάμβακος του ν. Λάρισας για τηλεθέρμανση», Μεταπτυχιακή διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
- Παπαϊωάννης Ιωάννης, (2011), «Ανάλυση διάφορων οργανικών κύκλων Rankine για την ανάκτηση θερμότητας από καυσαέρια κινητήρα Diesel», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Περιφέρεια Θεσσαλίας, (2011), «Καλάθι προϊόντων Θεσσαλίας», Επιχειρησιακό σχέδιο.
- Χριστοφόρου Γ. Λουκάς, «Ελληνικοί Ενεργειακοί Πόροι», Ομιλία στην ακαδημία Αθηνών, 13 Νοεμβρίου 2012.
- Ψυλλινάκη Εργίνας, (2009), «Προσδιορισμός μηχανικών αντοχών και επιμήκυνσης από την επίδραση φορτίου σε πλαστικά φύλλα», Πτυχιακή εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Ηράκλειο.

Δικτυακές πηγές

- <http://www.bisyplan.bioenarea.eu>
- <http://www.elperes.gr>
- <http://www.biomassenergy.gr>
- <http://www.envima.gr>
- <http://www.turboden.eu>
- <http://www.hydroponics.gr>
- <http://www.cres.gr>
- <http://www.helapco.gr>
- <http://www.ypeka.gr>
- <http://www.el.wikipedia.org>
- <http://www.trikalacity.gr>
- <http://www.lagie.gr>